

# 电子工业技术词典

电 源

国防工业出版社

R  
736072  
174.11

# 电子工业技术词典

## 电 源

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

34505/6

### 更 正

本书第7页第14行比重1.3应改为比重13.5~



## 内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》(试用本)的基础上作了较大修改和增补而编写的。本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照,书末附有英文索引,合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前,将先分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序,将视具体情况而定。

本分册是《词典》第十四章电源的内容,它包括:化学电源,物理电源,手摇发电机,整流,稳压,交流等六节。

## 电子工业技术词典

### 电 源

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 3<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 74 千字

1977年1月第一版 1977年1月第一次印刷 印数: 00,001—28,000册

统一书号: 17034·29-22 定价: 0.42元

## 前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- |                 |             |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础；         | 二、基本电子线路；   |
| 三、网络分析与综合；      | 四、电波传播与天线；  |
| 五、信息论；          | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路；        | 八、磁性材料与器件；  |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件；     |
| 十一、电线与电缆；       | 十二、电子管；     |
| 十三、半导体；         | 十四、电源；      |
| 十五、其它元器件；       | 十六、通信；      |

32439

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 十七、广播与电视；      | 十八、雷达；           |
| 十九、导航；         | 二十、自动控制与遥控、遥测；   |
| 二十一、电子对抗；      | 二十二、电子计算机；       |
| 二十三、系统工程；      | 二十四、电子技术的其它应用；   |
| 二十五、微波技术；      | 二十六、显示技术；        |
| 二十七、红外技术；      | 二十八、激光技术；        |
| 二十九、电声；        | 三十、超声；           |
| 三十一、声纳；        | 三十二、专用工艺设备与净化技术； |
| 三十三、电子测量技术与设备； | 三十四、可靠性。         |

各章互有联系，并尽量避免章节间词汇的重复，故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录，正文中各词汇后附有英文对照，最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版，各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作，自始至终是在毛主席革命路线的指引下，在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主，自力更生”的伟大方针，坚持了群众路线，实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学三个结合，以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限，加上时间仓促，虽然作了很大努力，但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处，恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

# 目 录

## 一、化 学 电 源

化学电源	14-1	放电率	14-4
电极	14-1	定电阻放电	14-4
正极	14-1	定电流放电	14-4
负极	14-1	连续放电	14-4
活性物质	14-1	间歇放电	14-4
隔膜	14-1	激活	14-4
电解质	14-1	蓄电池充电	14-4
电动势	14-1	浮充	14-4
开路电压	14-2	浮置充电	14-5
负荷电压	14-2	电池的串联和并联	14-5
工作电压	14-2	原电池	14-5
平均工作电压	14-2	一次电池	14-5
终止电压	14-2	锌锰干电池	14-5
额定电压	14-2	碱性锌锰电池	14-5
电流密度	14-2	锌汞电池	14-5
电池内阻	14-2	镉汞电池	14-5
电池容量	14-2	镁干电池	14-6
额定容量	14-2	蓄电池	14-6
比容量	14-2	二次电池	14-6
电池能量	14-2	酸性蓄电池	14-6
比能量	14-2	碱性蓄电池	14-6
重量比能量	14-3	铅蓄电池	14-6
体积比能量	14-3	干荷电电池	14-6
电池功率	14-3	镉镍蓄电池	14-6
比功率	14-3	铁镍蓄电池	14-7
自放电	14-3	锌银蓄电池	14-7
放电特性曲线	14-3	镉银蓄电池	14-7
蓄电池输出效率	14-3	锌镍蓄电池	14-7
蓄电池寿命	14-3	贮备电池	14-7
循环寿命	14-3	自动激活电池	14-7
贮存性能	14-3	锌银激活电池	14-7
放电规则	14-3	铅二氧化铅激活电池	14-7

镁氯化银电池·····	14-8	氢氧燃料电池·····	14-9
热激活电池·····	14-8	离子交换膜氢氧燃料电池·····	14-10
锂电池·····	14-8	培根型氢氧燃料电池·····	14-10
锂有机电解质电池·····	14-8	石棉膜氢氧燃料电池·····	14-10
锂无机电解质电池·····	14-8	有机化合物空气(氧)燃料电池·····	14-10
锂(钠)水电池·····	14-8	肼空气(氧)燃料电池·····	14-10
熔融盐电池·····	14-8	甲醇空气(氧)燃料电池·····	14-10
钠硫蓄电池·····	14-8	氨空气燃料电池·····	14-10
固体电解质电池·····	14-8	高温熔融碳酸盐燃料电池·····	14-10
金属空气电池·····	14-9	高温固体电解质燃料电池·····	14-11
碱性锌空气电池·····	14-9	再生式氢氧燃料电池·····	14-11
燃料电池·····	14-9		

## 二、物理电源

物理电源·····	14-12	背面场效应太阳能电池·····	14-13
太阳能电池·····	14-12	卷包式太阳能电池·····	14-13
转换效率·····	14-12	多结太阳能电池·····	14-13
伏安特性曲线·····	14-12	背电场太阳能电池·····	14-13
曲线因素·····	14-12	肖特基太阳能电池·····	14-13
光谱响应·····	14-12	整体二极管太阳能电池·····	14-13
辐射损伤·····	14-12	硫化镉薄膜太阳能电池·····	14-13
太阳模拟器·····	14-12	砷化镓太阳能电池·····	14-14
太阳常数·····	14-12	标定的太阳能电池·····	14-14
大气质量·····	14-12	太阳能电池方阵·····	14-14
盖片·····	14-12	温差发电器·····	14-14
减反射膜·····	14-12	热离子发电器·····	14-14
硅太阳能电池·····	14-13	核电池·····	14-14
薄膜硅太阳能电池·····	14-13		

## 三、手摇发电机

手摇发电机·····	14-15	无线电干扰电压·····	14-16
供电·····	14-16	无线电干扰场·····	14-16
电压调整率·····	14-16	无线电干扰电压电平·····	14-16
波纹系数·····	14-16	无线电干扰场电平·····	14-16
无线电干扰·····	14-16	无线电干扰标准·····	14-16
无线电干扰源·····	14-16		

## 四、整流

整流器·····	14-17	可控整流器·····	14-17
----------	-------	------------	-------

正向电流·····	14-18	多倍压整流器·····	14-23
正向压降·····	14-18	三相半波整流器·····	14-23
反向电流·····	14-18	三相桥式整流器·····	14-23
反向电压峰值·····	14-18	可控硅整流器·····	14-24
反峰电压·····	14-18	可控硅整流元件·····	14-24
整流系数·····	14-18	可控硅的伏安特性·····	14-24
整流效率·····	14-18	正向阻断峰值电压·····	14-25
整流器输出电流额定值·····	14-18	正向平均漏电流·····	14-25
整流器输入电压额定值·····	14-18	反向峰值电压·····	14-25
整流电压的脉动系数·····	14-18	反向平均漏电流·····	14-25
整流电压的波纹系数·····	14-19	额定结温·····	14-25
整流器输出电压调整率·····	14-19	额定正向平均电流·····	14-25
整流器内阻·····	14-19	正向平均电压降·····	14-25
整流器的换向电压·····	14-19	门极触发电流和电压·····	14-25
高真空整流管(二极管)·····	14-19	维持电流·····	14-26
充气整流二极管·····	14-19	可控硅的正向 $\frac{dv}{dt}$ 保护·····	14-26
水银整流管·····	14-19	可控硅的 $\frac{di}{dt}$ 保护·····	14-26
汞弧整流器·····	14-20	可控硅整流线路·····	14-26
半导体整流元件·····	14-20	单相半波可控整流器·····	14-27
锗整流元件·····	14-20	单相全波可控整流器·····	14-27
锗二极管·····	14-20	单相桥式半可控整流器·····	14-27
硅整流元件·····	14-20	三相半波可控整流器·····	14-27
硅二极管·····	14-20	三相半控桥式整流器·····	14-28
整流元件的串联和并联·····	14-20	三相全控桥式整流器·····	14-28
高压硅堆·····	14-21	可控硅逆变器·····	14-28
硒整流元件·····	14-21	可关断可控硅·····	14-29
氧化铜(氧化亚铜)整流元件·····	14-21	整流电路的电压浪涌抑制·····	14-29
变压器的设计功率(伏安功率)·····	14-22	平滑滤波器·····	14-29
变压器利用系数·····	14-22	电容滤波器和电感滤波器·····	14-29
整流线路·····	14-22	LC 滤波器·····	14-30
单相半波整流器·····	14-22	电感电容滤波器·····	14-30
单相全波整流器·····	14-22	RC 滤波器·····	14-30
单相桥式整流器·····	14-23	晶体管滤波器·····	14-30
双倍压整流器·····	14-23		

## 五、稳 压

稳压器·····	14-32	非线性稳压器·····	14-32
线性稳压器·····	14-32	参数稳压器·····	14-32



稳压器的基准电压·····	14-32	磁饱和阻流圈稳压器·····	14-36
稳压器的性能参数·····	14-33	磁放大器稳压器·····	14-37
稳压系数·····	14-33	开关稳压器·····	14-37
稳定度·····	14-33	升压开关稳压器·····	14-38
稳压器(稳流器)的长期稳定度·····	14-33	可控硅相位控制稳压器·····	14-38
时间比控制·····	14-33	可控硅直流稳压器·····	14-39
温度系数·····	14-33	可控硅交流稳压器·····	14-39
波纹电压·····	14-34	集成稳压电源·····	14-39
硅稳压管·····	14-34	稳压器的保护·····	14-40
标准稳压管·····	14-34	限流保护·····	14-40
稳压管稳压器·····	14-34	电流截止保护·····	14-40
电子管稳压器·····	14-35	无电源变压器电源·····	14-40
串联稳压器·····	14-35	晶体管的达林顿连接·····	14-41
晶体管串联稳压器·····	14-35	稳流器·····	14-41
并联稳压器·····	14-36	电子管稳流器·····	14-42
晶体管并联稳压器·····	14-36		

## 六、变 流

变流·····	14-43	可控硅三相变流器·····	14-46
变流器·····	14-43	可控硅多相变流器·····	14-46
变流效率·····	14-43	多相变流器·····	14-46
变流器的输出谐波系数·····	14-43	电容换流可控硅振动变流器·····	14-46
单端变流器·····	14-43	直流变流器·····	14-46
推挽变流器·····	14-43	晶体管变流器·····	14-47
晶体管自激变流器·····	14-43	振动变流器·····	14-47
晶体管他激变流器·····	14-44	振动子·····	14-47
可控硅变流器·····	14-44	不间断供电电源·····	14-47
可控硅并联电容换流变流器·····	14-44	柴油机-发电机-电动机	
摩尔根电路·····	14-44	不间断供电电源·····	14-47
琼斯电路·····	14-45	固态不间断供电电源·····	14-47
麦克莫莱变流器·····	14-45	并联多重连接电源系统·····	14-48
麦克莫莱-贝德佛特变流器·····	14-45		

## 一、化 学 电 源

### 化学电源

electrochemical power source; electro-chemical cell

又称电化学电池,是一种直接把化学能转变成低压直流电能的装置。主要的组成部分是正极、负极、隔膜、电解液,除此之外,还有外壳及其它附件(如接线柱,集流板等)。使用时用导线将两个电极和外电路联结起来,就有电流通过(放电),从而获得电能。放电到一定程度后,有的可用充电的方法使活性物质恢复,电池得到再生,又可反复使用,称为蓄电池(或二次电池);有的不能充电复原反复使用的,则称为原电池(或一次电池)。

化学电源的种类繁多,分类方法也很多。按电池的工作性质可分为原电池,蓄电池,贮备电池和燃料电池四类;按电解质溶液的性质可分为碱性电池,酸性电池,中性电池,有机电解液电池,无机电解液电池等等;按电极材料的不同,又可分为若干系列,如锌锰系列,锌空气系列,锌汞系列等等。还有按电池的工作温度、结构形状命名的,但多数是按电解液性质和电极材料来进行分类。

化学电源具有使用方便,性能可靠,便于携带,容量、电流和电压可在相当大的范围内任意组合等许多优点。在航空、航海、铁路运输、汽车、拖拉机、医学、农业、矿山、气象和地质探测、邮电通信等方面都得到了广泛的应用,是国民经济各部门中不可缺少的一个组成部分。

### 电极

electrode

电池的电极分为正极和负极,其作用是

参加电化学反应和导电。负极又称阳极,通常是采用电位较负的金属,例如锌、镁、铝、锂等,它们本身是还原剂,在放电过程中被氧化,所以放电时电池的负极也是阳极。正极通常是采用电位较正的金属氧化物,例如二氧化锰、二氧化铅等,它们都是氧化剂,在放电过程中被还原,因此放电时电池的正极也是阴极。

### 正极

positive plate

见“电极”。

### 负极

negative plate

见“电极”。

### 活性物质

active material

电池的电极中参加电化学反应的物质。

### 隔膜

separator

又称隔板(就铅蓄电池而言),其作用是防止正、负极活性物质接触而引起电池短路,同时它又能允许电解液中的离子在正、负极间移动,使电池形成通路。

### 电解质

electrolyte

在电池的正、负极间起离子导电作用的导体。电池的电解质主要有酸类、碱类、盐类的水溶液以及有机溶剂和熔融盐。电解质为液体状态的称电解液。

### 电动势

electromotive force

电池的电动势等于组成电池的两个电极的平衡电位之差,它是电池在理论上能够输

出多大能量的重要量度之一。如果其它条件相同,则电池的电动势愈高,理论上输出的能量就愈大。

### 开路电压

open circuit voltage

开路电压是指电池在开路状态下没有输出电流时的电压。因此测定开路电压时必须使用高内阻电压表。

### 负荷电压

load voltage

又称闭路电压、工作电压或放电电压。是指电池接通负荷时在放电过程中所显示的电压。负荷电压的大小,不仅随所加的负荷不同而异,贮存条件、工作温度对它也有影响。

### 工作电压

working voltage

见“负荷电压”。

### 平均工作电压

average working voltage

电池在不同放电时间的工作电压之平均值。

### 终止电压

cut-off voltage; end voltage

又称截止电压,是指电池放电至低于某一规定电压时,就被认为不适宜使用的电压。随着电池的负荷不同,所规定的终止电压也不同,负荷电流大,终止电压可低些。各类电池的终止电压,根据不同的用途,均有不同的规定。

### 额定电压

nominal voltage

也称标称电压,是指按技术标准规定应当达到的电压。

### 电流密度

current density

是指单位电极面积上所通过的电流。通常以毫安/厘米<sup>2</sup>表示。

### 电池内阻

internal resistance of cell

电池内阻是指电池内部元件(如电极、隔膜、电解液等)所具有的电阻以及电化学反应过程中电极极化所引起的阻抗之总称。它是决定电池工作制度的重要参数之一。电池的内阻大,放电时电池内部的能量消耗就大,因而电池的工作电压和输出的电流就小,电池就不能用于大电流放电。反之,电池的内阻小,放电时电池内部的能量消耗就小,电池的工作电压和输出的电流就大,就可以用于大电流放电。

### 电池容量

capacity of cell

电池容量即电池所能输出的电量,也就是放电电流与放电时间的乘积。通常以安培·小时(A·h)来表示。

### 额定容量

nominal capacity

是指在一定放电规则下,电池应该给出的最低限度的电量。

### 比容量

specific capacity

电池的单位重量或单位体积所输出的容量称为比容量,前者叫重量比容量,单位是安时/公斤,后者叫体积比容量,单位是安时/升。

### 电池能量

energy content of battery (cell)

电池能量是指电池在一定条件下所能给出的电能。电池的实际能量,等于电池的实际容量与平均工作电压的乘积。能量通常用瓦时(W·h)表示。

### 比能量

energy density

电池的比能量是指电池的单位重量或单位体积所能输出的电能。它既是衡量电池的能量指标,也是评价电池重量或体积大小的指标。有重量比能量和体积比能量之分。

**重量比能量**

energy density per unit weight

单位重量的电池输出的能量称为重量比能量,通常用瓦时/公斤( $W \cdot h/kg$ )表示。

**体积比能量**

energy density per unit volume

单位体积的电池输出的电能称为体积比能量,通常用瓦时/升( $W \cdot h/l$ )表示。

**电池功率**

power of battery (cell)

电池功率是指电池在一定放电规则下,于单位时间内所给出的能量大小,其单位为瓦(W)或千瓦(kW)。电池的功率决定着电池的工作能力,如果一个电池的功率大,则表示该电池在单位时间内输出的能量多。

**比功率**

power density

单位重量或单位体积的电池所能输出的功率称为比功率,前者为重量比功率,单位是瓦/公斤( $W/kg$ ),后者为体积比功率,单位是瓦/升( $W/l$ )。

**自放电**

self discharge

电池在开路下,由于电极活性物质的化学稳定性不好,或与电解质的匹配性不良,或存在着有害杂质等均会引起消耗电极活性物质的电化学反应;同时,电池结构上的不合理也会产生漏电。上述这些情况都会导致电池活性物质的无益损耗,而使电池容量逐渐下降,称为自放电。

**放电特性曲线**

discharge characteristic curve

电池放电时,它的工作电压总是随着时间的延续而不断发生变化,用电池的工作电压和放电时间或容量绘制而成的曲线称为放电特性曲线。曲线平坦、表示电池的工作电压平稳。测定电池的放电曲线,是研究电池性能的基本方法之一,根据放电曲线,可以

判断电池工作性能是否稳定,以及电池在稳定工作时所允许的最大电流。

**蓄电池输出效率**

output efficiency of storage battery

蓄电池充放电时总有一定的能量消耗,通常以输出效率表示。输出效率高,表明充放电中能量消耗小,电池性能好。输出效率分电量效率与电能效率两种。

电量效率,指放电容量与充电容量的百分比;电能效率,指放电能量与充电能量的百分比。

**蓄电池寿命**

life of storage battery

指循环次数或使用期限。每充电和放电一次,叫做一次循环或一个周期。在保证输出一定容量的前提下,蓄电池所能经历的循环次数或时间,称为蓄电池的使用寿命。

**循环寿命**

cycle life

见“蓄电池寿命”。

**贮存性能**

shelf characteristic

电池的贮存性能包括干贮存性能(即无电解液贮存)和湿贮存性能(即有电解液贮存)两种。湿贮存性能是指电池在一定条件下(如一定温度、一定湿度等)贮存时的容量下降率。是评价电池性能的重要指标之一。电池贮存时容量的下降,不但损失了电池的能量,而且降低了电池的工作可靠性。贮存性能差的电池不宜于在很低放电率条件下使用。因为在这种情况下,电池的大部分能量消耗在自放电中,使活性物质的利用率降至很低。

**放电规则**

discharge regime

当电池进行放电试验时,必须把对放电特性有影响的放电条件明确规定下来,一般应规定的主要条件如下:

1. 放电方法:连续放电还是间歇放电,

如果是间歇放电,应注明放电时间和间歇时间以及周期。如果是蓄电池则注明放电率。

2. 放电电阻或放电电流:是定电阻放电还是定电流放电。

3. 放电终止电压。

4. 温度:例如原电池一般是在  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  的温度下进行放电。

### 放电率

discharge rate

是指电池放电的速率。通常用几小时率、几分钟率表示。说明电池应在几小时或几分钟内输出所规定的容量。也有高放电率与低放电率之分。高放电率是指电池在大电流密度下工作。低放电率是指电池在小电流密度下工作。

### 定电阻放电

constant-resistance discharge

又称恒电阻放电,是指放电过程中保持电阻为一定值。在检验锌锰干电池等一次电池的性能时,常用定电阻放电法。定电阻放电一般是在指定温度下规定放电电阻,终止电压,有时还要指出是连续放电还是间歇放电。若是间歇放电,则要指明放电时间和间歇时间以及放电周期。

### 定电流放电

constant-current discharge

又称恒电流放电,是指放电过程中保持电流为一定值。在检验除锌锰干电池以外的其它电池性能时,一般常采用定电流放电法。定电流放电是在指定温度下规定放电电流及终止电压。

### 连续放电

continuous discharge

是一种不间断的放电方法,一直放到电池规定的终止电压。

### 间歇放电

intermittent discharge

是放电与停止放电交替进行的一种放电

方法。

### 激活

activation

用灌入电解液或加热、充气等方法,使电池在短时间内由非工作状态进入工作状态,称为激活。

### 蓄电池充电

charge of storage battery

蓄电池放电后,用直流电接与放电电流相反的方向通过蓄电池,使它恢复工作能力,这个过程称为蓄电池充电。蓄电池充电时,电池正极与电源正极相联,电池负极与电源负极相联,充电电源电压必须高于电池的总电动势。充电方式有恒电流充电和恒电压充电两种。

### 浮充

floating charge

浮充是蓄电池组的一种供(放)电工作方式,系将蓄电池组与电源线路并联连接到负载电路上,它的电压大体上是恒定的,仅略高于蓄电池组的断路电压,由电源线路所供的少量电流来补偿蓄电池组局部作用的损耗,以使其能经常保持在充电满足状态而不致过充电。因此,蓄电池组可随电源线路电压上下波动而进行充放电。当负载较轻而电源线路电压较高时,蓄电池组即进行充电;当负载较重或电源发生意外中断时,蓄电池组则进行放电,分担部分或全部负载。这样,蓄电池组便起到稳压作用,并处于备用状态。

浮充供电工作方式可分为半浮充和全浮充两种。当部分时间(负载较重时)进行浮充供电,而另部分时间(负载较轻时)由蓄电池组单独供电的工作方式,称为半浮充工作方式,或称定期浮充工作方式。倘全部时间均由电源线路与蓄电池组并联浮充供电,则称为全浮充工作方式,或称连续浮充工作方式。

以浮充工作方式使用的蓄电池组,其寿

命一般较全充放工作方式者要长,而且可改用较小些容量的蓄电池组来代替。这种浮充供电工作方式多用于发电厂的断电备用电源和电话局的电话正常供电电源。

### 浮置充电

floating charge

即“浮充”。

### 电池的串联和并联

series and parallel connection of battery

在实际使用电池时,常常需要较高的电压和电流,因此需要把若干个单体电池进行适当的组合,以满足使用的需要。

将一个电池的负极与另一个电池的正极依次连接起来,称为串联。目的是要获得所需要的电压。串联时电池组的电压等于各个串联电池电压之和,而电池组的电流和容量则仍等于单个电池的工作电流和容量。

将每个电池的正极与正极相连,负极与负极相连,称为并联。目的是获得所需要的电流和容量。并联时电池组的电流和容量等于单个电池的电流和容量之和,而电池组的工作电压则仍等于单个电池的工作电压。

### 原电池

galvanic cell

又称一次电池,是指电池放电到一定程度之后不宜用充电的方法恢复其工作能力的电池,如锌锰干电池,镉镍干电池等。

### 一次电池

primary cell

即“原电池”。

### 锌锰干电池

zinc-manganese dioxide dry cell

锌锰干电池是以锌作负极,二氧化锰为正极,氯化锌、氯化铵为电解质的一种原电池。由于电解质是不流动的糊状物,所以又叫“干”电池。这种电池的电动势约为1.5~1.6伏,小电流放电比能量一般为55~80瓦时/公斤。有筒式(圆形或方形)和叠层

式两种结构。可用作照明、晶体管收音机、各种仪器仪表、信号装置、自动控制设备、有线或无线通信设备等用电设备的直流电源。

### 碱性锌锰电池

alkaline zinc-manganese dioxide cell

碱性锌锰电池的正负极组成与普通锌锰干电池基本相同,但系采用大面积锌阳极和高密度二氧化锰阴极,电解液为氢氧化钾溶液,故名碱性锌锰电池。有扣式、片状和筒式几种结构,但多为筒式。筒式结构外观与普通筒式锌锰干电池相同,但电池极性却相反,中心是负极,外侧是正极。开路电压为1.52伏,平均工作电压在1.1伏以上。优点是容量大,放电电压平稳,低温性能优良,贮存性能较好,适合于大电流连续放电。有一定的可逆性,可多次充放电。可用作便携式电视机,强力照明,小型磁带录音机,照相闪光灯,电动玩具以及小型电子计算机等的直流电源。

### 锌汞电池

zinc-mercuric oxide cell

又称水银电池,是以锌汞齐作负极,氧化汞作正极,氢氧化钾溶液作电解液的一种原电池。有扁型(又称扣式)和圆筒型两种结构。一般外壳是正极,盖子是负极。主要优点是:(1)比能量高(380瓦时/升和100瓦时/公斤),为锌锰干电池体积比能量的三倍,重量比能量的两倍;(2)常温放电电压平稳;(3)能在较高温度(70℃)下使用;(4)机械强度好,耐受冲击和震动;(5)室温贮存期长。缺点是:价格较贵,低温性能较差,在0℃以下只适于小电流使用,密封不良时会有少量漏碱。适用作仪器、仪表、医疗器械和手表等的电源。

### 镉汞电池

cadmium-mercuric oxide cell

镉汞电池是以金属镉作负极,氧化汞作

正极, 氢氧化钾溶液做电解液而组成的一种原电池。开路电压为 0.94 伏, 实际比能量约为 40 瓦时/公斤, 工作温度范围宽 ( $-54 \sim +150^{\circ}\text{C}$ ), 贮存寿命较长, 耐冲击震动性能好。可用作引爆器、火箭、导弹、无线电收发报机、心脏起搏器等的直流电源。

### 镁干电池

magnesium dry cell

镁干电池是以镁合金做负极, 选用不同正极活性物质与不同电解液研制而成的各种镁阳极干电池之总称。由于镁的标准氧化-还原电位比锌负, 电化学当量也比锌小, 因而制成的电池比能量较锌锰干电池高。较成熟的有镁-二氧化锰干电池, 镁-间二硝基苯干电池等。这类电池的主要优点是: 比能量比锌锰干电池高, 放电电压平稳, 能耐高温高湿贮存, 低温下也有较好的工作能力。缺点是有一定的电压延迟作用。主要用作军用通信设备的直流电源。

### 蓄电池

storage battery

也称二次电池。这类电池放电后, 可以用充电的方法使活性物质复原而获得再放电的能力, 并且能够反复充放电循环多次。蓄电池按其电解液的性质分酸性蓄电池和碱性蓄电池两大类。酸性蓄电池最常见的是铅蓄电池; 碱性蓄电池包括镉镍、铁镍、锌银、镉银、锌镍等系列的蓄电池。

### 二次电池

secondary cell

即“蓄电池”。

### 酸性蓄电池

acid storage battery

以硫酸溶液作电解质的蓄电池。

### 碱性蓄电池

alkaline storage battery

以氢氧化钠、氢氧化钾溶液作电解质的蓄电池。

### 铅蓄电池

lead accumulator; lead storage battery

又称铅酸蓄电池或酸性蓄电池。负极活性物质为海绵状铅, 正极活性物质为二氧化铅, 比重为 1.15~1.28 的稀硫酸作电解质。正负极之间隔有微孔橡胶或微孔塑料隔板, 容器为硬质橡胶或塑料槽。根据极板结构可分为形成式、涂膏式及管式几种; 根据电池密封结构可分为开口式、半密封式和全密封式; 根据用途可分为启动型、固定型等等。主要优点是电动势较高, 内阻小, 使用温度范围广, 材料来源丰富, 价格低廉, 电量和电能效率高, 能大电流放电, 工作可靠性好。但比较笨重, 循环寿命较短, 比能量较低。广泛用作汽车、飞机、电瓶车、轮船、火车、坦克、潜艇、通信等方面的直流电源。

### 干荷电电池

dry charged battery

电池的极板已经经过充电, 并以干态保存, 电池在使用时灌入电解液后, 再经短时间充电或不经充电即可使用的蓄电池。

### 镉镍蓄电池

cadmium-nickel storage battery

负极为海绵状镉, 正极为氢氧化镍, 正、负极之间用硬橡胶棍、有机隔膜或无机隔膜隔开, 外壳是镀镍钢板壳或塑料壳, 采用比重为 1.18~1.28 的氢氧化钾或氢氧化钠溶液作电解液。镉镍蓄电池按密封程度可分为开口式、液密式和全密封气密式三种。按电极结构可分为盒式(或称袋式)、管式、压成式、半烧结式、烧结式五种。前两种统称有极板盒式, 后三种统称无极板盒式。

镉镍蓄电池具有很长的使用寿命。能承受一般的冲击和振动, 机械强度较好。低温性能好, 在  $-40^{\circ}\text{C}$  环境中有一定的工作能力。放电电压平稳。维护简便。但缺点是耗镍量大(特别是烧结式), 电池造价较高。它主要用作通信、照明、电子仪器、启动、飞机随

航应急和宇宙飞行等直流电源。

### 铁镍蓄电池

iron-nickel storage battery

负极为海绵状铁,正极为氢氧化镍。电池结构,使用维护情况以及主要优缺点与镉镍有极板盒蓄电池基本相同。它比镉镍蓄电池成本低,但自放电大,低温性能差。目前主要用作启动、牵引以及矿下照明等直流电源。

### 锌银蓄电池

zinc-silver storage battery

负极活性物质是金属锌粉,正极活性物质是氧化银。正负极片间隔以水化纤维素薄膜,紧装在塑料壳内,一般采用比重为1.38~1.40的氢氧化钾溶液作为电解液。通常以干态保存,需用时灌入电解液,经活化和充电后使用。

主要特点是:体积小,重量轻,比能量为铅蓄电池和镉镍蓄电池的3~5倍;比功率高,可在700瓦/公斤下输出大部分容量并保持稳定的工作电压。但因造价高,寿命短而限制其广泛应用。目前主要用作便携式仪器、飞机、潜艇、鱼雷和宇宙飞行器等直流电源。

### 镉银蓄电池

cadmium-silver storage battery

是在锌银蓄电池的基础上发展起来的一种碱性蓄电池。负极是海绵状镉,正极是氧化银。结构和工作特性与锌银蓄电池相似。寿命比锌银蓄电池长,电压比镉镍蓄电池高,抗磁性较好,比能量为铅蓄电池和镉镍蓄电池的两倍。因以贵金属为材料,造价高,比特性不如锌银蓄电池,目前仅用作宇宙航行直流电源。

### 锌镍蓄电池

zinc-nickel storage battery

负极是金属锌,正极是氢氧化镍,电解液为氢氧化钾溶液。特点是工作电压较高

(1.6~1.7伏),能在较大的电流密度下工作,寿命与锌银蓄电池相近。

### 贮备电池

reserve cell

是指使用前加入电解液或水或者用其它激活剂和加热等方法使其活化而获得电能的一种电池。两个电极一般是在干燥条件下组装的,使用前都不能和电池的激活剂发生作用,因此可以长期保存。此种电池一般是为特殊用途而设计的。按激活方法的不同,可分为液体激活贮备电池,气体激活贮备电池和热激活贮备电池等。

### 自动激活电池

automatically activated battery

是一次使用的一类贮备电池,使用前电解液与电极分开贮存,电池处于未活化状态。一旦需要使用时,用自动激活的方法,即用高压气体、冲击力或离心力,将电解液加入到电极群中,使电池处于工作状态。目前应用的主要有锌氧化银电池、铅二氧化铅电池等,电池组成与特性示于表中。优点是贮存寿命长,可达5~10年,不需维护,使用简便。缺点是使用前不能作可靠性检查,工作时间短,一般为几分至十几分钟。主要用于导弹、鱼雷、炮弹引信等军事用途或其它短时间用电的场合。

电池名称	电 池 组 成			工作温度范围(℃)	工作时间	激活时间	平均工作电压(伏)
	负极	电解液	正极				
锌银	锌	氢氧化钾	氧化银	-10~+70	十几分钟	0.5~0.3秒钟	1.5~1.3
铅二氧化铅	铅	硼氟酸(高氯酸、硅氟酸)	二氧化铅	-25~+60	十几分钟	0.3秒钟	2.1~1.6

### 锌银激活电池

zinc-silver oxide activated battery

见“自动激活电池”。

### 铅二氧化铅激活电池

activated lead-lead dioxide battery

见“自动激活电池”。



**镁氯化银电池**

magnesium-silver chloride battery

镁氯化银电池是以镁片作负极，以附着在银网上的氯化银作正极组装而成的一种贮备式电池。这种电池做成后并不具备工作的全部必要条件，要在使用前注入海水或淡水或者投入江、河、湖、海中才能进入工作状态。故这类电池又称水活化电池或注液电池。未注入电液之前，在干燥状态下能长期贮存。激活后（即注入电液后），可以大电流放电，低温性能较好，可在 $-60^{\circ}\text{C}$ 温度下工作，并且高温（如 $94^{\circ}\text{C}$ ）及低温（如 $-54^{\circ}\text{C}$ ）时的容量与常温容量相差不多，并有体积小，重量轻等优点。能用作鱼雷、声纳浮标、海空呼救电台、高空宣传器等设备的直流电源。

**热激活电池**

heat activated battery

简称热电池。是一次使用的一类贮备电池。贮存时电解质是固体，电池处于未活化状态。使用时用加热元件加热，使电解质熔融，成为离子导体，电池即被激活。可用电脉冲、冲击力或离心力使其在约1秒钟时间内激活。这类电池用钙或镁作负极，用各种金属铬酸盐（如重铬酸钾、铬酸铈）或氧化物作正极，电解质为碱金属氯化物（氯化锂、氯化钾）。优点是：贮存寿命长，一般在10年以上；工作电压高；工作温度范围宽，激活后可在 $-50\sim+50^{\circ}\text{C}$ 下工作；耐冲击、振动等机械性能好，能经受多种恶劣环境的考验；不需维护。缺点是使用前不能作可靠性检查，工作时间短（几分钟）。主要用于导弹、炮弹引信等军事用途或其它短时间的用电场合。

**锂电池**

lithium battery

是以活泼的金属锂作负极的一类高能量电池。分有机电解质和无机电解质两种类型。前者用氧化汞、氟化碳、硫化铜或二氧化硫等作正极，用无机盐的有机溶剂作电解质；后

者用无机盐的非水无机溶剂作电解质，兼作正极反应剂。电池的优点是：工作电压高，放电电压平稳，比能量大，工作温度范围较广。缺点是重负荷性能差，短路时有爆炸起火的危险。

**锂有机电解质电池**

lithium organic electrolyte battery

见“锂电池”。

**锂无机电解质电池**

lithium inorganic electrolyte battery

见“锂电池”。

**锂（钠）水电池**

lithium (sodium) water cell

是用碱金属（锂或钠）和水直接起电化反应而产生电能的一种高能量电池。负极是固态钠或锂，正极是铁，用淡水或海水作电解质。有电极旋转和电极静止的两种结构。电池特点是，电流密度大，比能量高，寿命长，材料便宜，但易起火和爆炸，应注意安全。

**熔融盐电池**

molten salt electrolyte battery

用液态金属锂作负极，硫族元素（硫、硒、碲）或氯气作正极的一种高能量电池。电解质为熔融金属卤化物。工作温度为 $250\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。电池的特点是：开路电压高，比能量大，可大电流放电。但寿命较短，仍存在腐蚀、密封、结构、材料与在高温条件下工作的保温问题。

**钠硫蓄电池**

sodium sulfur storage battery

是以液态金属钠作负极，液态硫作正极， $\beta$ -三氧化二铝作电解质的一种高能量电池。工作温度为 $300^{\circ}\text{C}$ 。特点和存在问题与熔融盐电池相同。可用作车辆推进电源。

**固体电解质电池**

solid electrolyte battery

固体电解质电池与锌汞电池的结构近似，所不同的是，用离子导电的固体盐类（如

碘化银铷、碘化锂等)作电解质。负极是银、锂或钠,正极是碘化物或多碘化物。特点是:贮存寿命长(约10~20年),耐冲击和振动。可用作高电压、小电流(微安级或毫安级)电源,如盖革计数管、光电倍增管等;还可用于导弹[如 $\text{Ag}/\text{AgI}(150\sim 300^\circ\text{C})/\text{RbI}_3$ 电池],代替高温熔融的热电池。

### 金属空气电池

metal-air battery

以气体扩散电极作为载体吸收空气中的氧做正极活性物质,以适宜的金属做负极活性物质而组成的电池,称为金属空气电池。电解液有碱性和中性两种。从电极材料上分,有锌空气(或锌氧)、铝空气、镁空气、铁空气、钠空气、锂空气电池等,而以锌空气电池研制较为成熟,并已投入生产使用。由于空气中的氧是取之不尽的高电位正极活性物质,不必贮存在电池里,所以能获得较高的比能量,可作为通信设备和电子仪器等所需的大功率电源。

### 碱性锌空气电池

alkaline zinc-air battery

又称锌碳电池,由粉状多孔锌阳极(负极),气体扩散氧电极和氢氧化钾溶液组成。有圆筒形和方扁形两种结构。圆筒形结构与普通锌锰干电池相似,多为一次电池;方扁形结构大致分为三类:(1)注碱液或加水激活式的一次电池;(2)锌电极和氢氧化钾溶液可以更换,使电池可以多次使用,简称锌阳极更换式;(3)用第三电极进行再充电的二次锌空气电池。

电池本身不装入正极活性物质,而是取自空气中的氧,电池容量完全取决于锌电极的容量。理论比能量为1350瓦时/公斤,实际比能量达160~250瓦时/公斤,能大电流放电,工作电压平稳,原材料易得。可用作无线电通信、铁路信号灯、农用黑光灯、航标灯以及某些军事设备的直流电源。

### 燃料电池

fuel cell

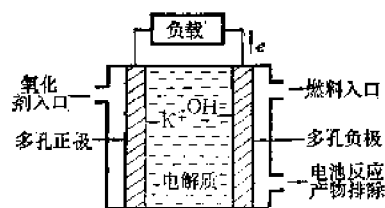
燃料电池是一种将燃料的化学能直接转换为电能的装置。

工作原理基本上与一般电池相同,所不同的是两极活性物质贮存在电池的外面,电池的活性物质一般为液体或气体,它的电极不同于一般电池的电极,主要是采用多孔气体扩散电极。只要不断地供给活性物质,即燃料与氧化剂,电池便可源源不断地发出电来。为保证电池工作正常进行,还必须有一个排除反应产物——水和排热的辅助系统。

电池按工作温度可分为高温( $500^\circ\text{C}$ 以上)、中温( $200^\circ\text{C}$ 左右)、常温燃料电池;按燃料可分为氢氧(空气)、肼空气(氧)、甲醇空气(氧)和烃空气燃料电池等。

电池的优点是:不受一般热机所遵守的卡诺循环的限制,实际效率可达50~70%,在供电时间大于十几小时的情况下,比能量远大于其它化学电源,可做成各种功率(数十毫瓦~数十兆瓦)的电源,并可连续供电,使用寿命可达数千小时。

由于电池的辅助系统复杂,大多需要贵金属催化剂,成本高,所以仅限于一些特殊的用途。如用于载人飞船、浮标、灯塔、无人气象站、潜艇和一些军事通信设备等。



燃料电池结构示意图

### 氢氧燃料电池

hydrogen-oxygen fuel cell

是以氢气作燃料、氧气作氧化剂的一类燃料电池。通常用镍粉、活性碳粉为载体并加催化剂制成电极,亦可用催化剂(或和以

镍粉、碳粉)加聚四氟乙烯悬浮液混和制成电极。负极催化剂一般为铂、钯、镍,正极催化剂除铂、钯、镍外,亦有用银、碳等。选用氢氧化钾或离子交换膜作电解质。主要有离子交换膜燃料电池,培根型燃料电池和石棉膜燃料电池。主要用于载人飞船,可提供宇航员饮用水。

#### 离子交换膜氢氧燃料电池

ion-exchange membrane hydrogen-oxygen fuel cell

是以氢气作燃料、氧气作氧化剂的一种燃料电池。将铂黑涂在金属网上作正负极。用离子交换膜作电解质。特点是采用“灯芯”排水系统、结构简单、体积小、重量轻、体积比功率较高。但离子交换膜电阻较大,电池的电流密度较小。需贵金属作催化剂,限制了它的用途。

#### 培根型氢氧燃料电池

Bacon type hydrogen-oxygen fuel cell

它以氢气作燃料,氧气为氧化剂。用双层多孔烧结镍作负极,用锂盐和镍盐处理过的双层多孔烧结镍作正极,以高浓度(80%)的氢氧化钾作电解质。在250°C温度下工作,电性能较好,转换效率较高。但采用带运动部件的氢气循环排水系统,结构复杂、笨重,比功率较低。存在一定的腐蚀问题,影响电池寿命。

#### 石棉膜氢氧燃料电池

asbestos-membrane hydrogen-oxygen fuel cell

又称毛细膜燃料电池。燃料与氧化剂分别为氢和氧。用铂等催化的烧结镍或多孔碳作负极,多孔银作正极。电解液为35%的氢氧化钾。可采用氢气循环动态排水系统,亦可采用可靠的、适应空间环境的静态排水系统。单体电池性能介于离子交换膜氢氧燃料电池和培根型氢氧燃料电池之间,寿命较长。

#### 有机化合物空气(氧)燃料电池

organic compound-air(oxygen) fuel cell

是用有机化合物如甲醇、肼、烃类和天然气等作燃料,以空气或氧作氧化剂的一类燃料电池。有机化合物有直接使用的和裂解后使用的。燃料直接使用的电池采用烧结金属镍电极、多孔碳电极或塑料粘结电极,负极一般用硼化镍、镍或铂、钯催化,正极一般用铂、钯或银、碳催化。选用氢氧化钾、磷酸或硫酸作电解质。主要有肼空气(氧)和甲醇空气(氧)燃料电池。特点是:燃料一般是液体,浓差极化小;燃料易于储存与运输。缺点是:肼燃料较贵。甲醇电池性能较差,只适于作小功率的电源,并需要较贵的催化剂。主要用于通信机、中继站、电视转播站、浮标、灯塔和无人气象站等。燃料裂解后使用的电池特点是,可采用广泛的廉价有机燃料,但需要裂解装置,体积大。

#### 肼空气(氧)燃料电池

hydrazine-air (oxygen) fuel cell

见“有机化合物空气(氧)燃料电池”。

#### 甲醇空气(氧)燃料电池

methanol-air (oxygen) fuel cell

见“有机化合物空气(氧)燃料电池”。

#### 氨空气燃料电池

ammonia-air fuel cell

是以氨作燃料、空气作氧化剂的一种燃料电池。有直接使用氨和间接使用氨的两种类型。前者的性能远低于氢氧燃料电池;后者采用氨裂解产生的氢气作燃料,负极用硼化镍催化的塑料粘结电极,正极用银催化的塑料粘结电极。电解液为氢氧化钾。特点是:燃料便宜,易于贮存,但需要裂解装置。可作中继站电源。

#### 高温熔融碳酸盐燃料电池

high temperature molten carbonate fuel cell

是高温燃料电池的一种。以烃类化合物

如天然气、甲醇或汽油等裂解生成的氢和一氧化碳为燃料，空气作氧化剂。负极通常采用烧结镍，正极除用氧化镍或氧化铜外，亦有用银电极的。电解质为熔融碳酸钠和碳酸钾的混合物。工作温度为 500~700℃。特点是：消除了二氧化碳的排除问题，可采用非贵金属催化剂和廉价的有机化合物作燃料。但存在固体碳沉积物毒化电极，高温引起的材料腐蚀，燃料的化学裂解以及电解质的使用寿命等问题。

#### 高温固体电解质燃料电池

high temperature solid electrolyte fuel cell

是以氢气作燃料、氧气作氧化剂的一种

高温燃料电池。用多孔铂作电极，将铂涂在电解质管的内外壁上，内壁作负极，外壁作正极。电解质为氧化锆、氧化钙或三氧化二钇的混合物。工作温度为 1000℃。特点是电流密度大，比功率高，为常温燃料电池的三倍。但电解质较脆，组合成较大的电池组有一定的困难，需要贵金属催化剂及存在高温腐蚀等问题。

#### 再生式氢氧燃料电池

regenerative fuel cell

利用太阳能或其它能源使燃料电池的反应产物经过热解、电解、光解或辐射分解，再生成燃料的一种燃料电池。

## 二、物理电源

### 物理电源

physical power source

物理电源是将太阳能或光能、热能及核能直接转换成电能的一种装置。主要有太阳能电池、温差发电器、热离子发电器及核电池。但不包括磁流体、原子能反应堆等大型装置。它们的特点是单个电池输出功率一般不大,且为直流电,贮存寿命长,能长期连续使用。

### 太阳能电池

solar cell

又称光电池、光生伏打电池。是一种将光能直接转换成电能的半导体器件。工作原理是基于半导体P-N结的光生伏打效应。当电池表面受到光照时,在电池内部产生的光生电子-空穴对扩散到P-N结并受结电场影响而分开,电子移向N区,空穴移向P区,这样在P区和N区之间产生了光生电动势,当外电路连接起来时就有电流通过。现主要有硅、硫化镉、碲化镉、碲化镓太阳能电池。

### 转换效率

conversion efficiency

系指太阳能电池的最大输出功率与照射到电池的入射光的功率之百分比。

### 伏安特性曲线

VA characteristic curve

在不同外电路负载情况下,流经负载的电流与太阳能电池端电压的关系曲线。

### 曲线因素

curve factor

也称功率因素。系指电池最大输出功率与开路电压、短路电流乘积之百分比。

### 光谱响应

spectral response

即光谱灵敏度。系指单位能量(或单位量子数)的某一波长的光入射到电池上所产生的光生电流。

### 辐射损伤

radiation damage

高能粒子如电子、质子等使太阳能电池的电性能衰减称辐射损伤。

### 太阳模拟器

solar simulator

是模拟太阳光谱的一种装置。作测定太阳能电池性能时的光源用。

### 太阳常数

solar constant

系指地球外层空间单位面积上的太阳光功率。单位以毫瓦/厘米<sup>2</sup>表示。现在公认值为 $135.3 \pm 1.5$  毫瓦/厘米<sup>2</sup>。

### 大气质量

air mass

太阳的光通过大气的路程与太阳在天顶时光通过大气的路程之比。

### 盖片

cover

系指加于太阳能电池上的透光的覆盖物。用以减轻地球外层空间的高能粒子(电子、质子等)、微流星对太阳能电池的损伤。主要有熔融石英、掺铈玻璃、全氟乙烯丙烯盖片。

### 减反射膜

antireflective coating

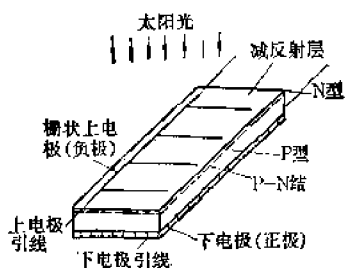
系指加在太阳能电池受光面上的一层光学膜,用以减少入射光的反射损失。主要有含氧量为1~2的硅氧化物(SiO<sub>2</sub>)与钛氧化

物 ( $\text{TiO}_2$ )、二氧化铈 ( $\text{CeO}_2$ ) 和五氧化二钽 ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) 等。

### 硅太阳能电池

silicon solar cell

是以硅为基体材料的太阳能电池。它分为以 P 型硅为基体的  $\text{N}^+/\text{P}$  型电池和以 N 型硅为基体的  $\text{P}^+/\text{N}$  型电池两种。前者耐辐照性能好, 后者效率较高。 $\text{N}^+/\text{P}$  型电池的结构示意图如图所示。硅太阳能电池光电转换效率高, 产品效率在 8~13% 之间, 最高达 19%, 重量轻, 可靠, 能长期工作, 能经受外层空间的复杂环境等。缺点是成本高、占地面积大、机械性能差、材料利用率低。它已广泛用于人造卫星、宇宙飞船和星际站作主要电源。地面上可用于无人灯塔、无人气象站、微波中继站、航标灯、地震观察站等作电源。还可作光电元件用于自动化系统中。



$\text{N}^+/\text{P}$ 型电池的结构示意图

### 薄膜硅太阳能电池

thin film silicon solar cell

是指用拉制、化学气相沉积法、溅射法等制得的大面积薄膜硅为基体材料的一种太阳能电池。特点是成本低, 面积大, 重量轻, 但工艺复杂, 不易控制。

### 背面场效应太阳能电池

back surface field effect solar cell

在基区背面有一个电场的一种太阳能电池。分为  $\text{N-P-P}^+$  和  $\text{P-N-N}^+$  两种。

### 卷包式太阳能电池

wrap-around contact solar cell

是将电池的 N 接触或 P 接触沿电池边缘

绕到电池背面, 使 N 型接触和 P 型接触都在电池背面的一种太阳能电池。这种结构的电池, 作用面积较常规电池大, 互连和附着盖片方便。

### 多结太阳能电池

multijunction solar cell

系指在同一基体半导体材料上制成多个 P-N 结的电池。光照方向垂直于 P-N 结的为水平结电池; 平行于 P-N 结的为垂直结电池。两种均能串联或并联, 均可提高短路电流。垂直结电池并有高的耐辐照能力。制造工艺均较困难。

### 背电场太阳能电池

back surface field solar cell

背电场电池系指在基区底部即电池背面附近具有基体杂质的浓度梯度的太阳能电池。结构形成有  $\text{P}^+/\text{N-N}^+$  或  $\text{N}^+/\text{P-P}^+$ 。杂质浓度梯度可通过蒸铝烧结或硼扩散的方法建立。目前, 高效率电池一般都具有背电场。

### 肖特基太阳能电池

Schottky solar cell

系指金属-半导体接触的太阳能电池。其原理是基于金属-半导体接触时在一定条件下可产生整流接触的肖特基效应。这种电池制造工艺简单, 但光电转换效率较低。

### 整体二极管太阳能电池

integral diode solar cell

系指二极管和太阳能电池制在同一基片上的组合体。用这种电池易于制成高电压的方阵, 同时由于排除了阴影和开路问题, 方阵的可靠性高。

### 硫化镉薄膜太阳能电池

cadmium sulfide thin film solar cell

以硫化镉薄膜为基体材料的一种太阳能电池。优点是制造简单、成本低、重量轻、抗辐照性能好。但效率比硅太阳能电池低, 贮存后性能衰减, 在热真空环境中和大气中性能不稳定。

**砷化镓太阳能电池**

gallium-arsenide solar cell

是以砷化镓为基体材料的一种太阳能电池。这种电池理论效率高,耐高温、耐辐照,但成本高,制造工艺复杂。

**标定的太阳能电池**

calibrated solar cell

系指对地球外层空间太阳光谱测定过电性能的一种太阳能电池。标定方法有实验室、气球、高山、飞机、卫星标定法。它用作地面测量太阳能电池性能的比较标准。

**太阳能电池方阵**

solar cell array

系指由大量的单体太阳能电池组合而成的大面积太阳能电池组,是一个独立的供电系统。

**温差发电器**

thermoelectric generator

温差发电器是利用温差电效应将热能直接转换成电能的一种装置。现在使用的温差电材料有碲化铅、碲化铋、碲化锗、锗-硅等。根据使用的热源分为放射性同位素温差发电器、太阳能温差发电器、核反应堆温差发电器和使用液体(如汽油)、气体(如天然气)作燃料的温差发电器。放射性同位素温差发电器中常用的同位素为钷<sup>238</sup>、镅<sup>241</sup>、钚<sup>210</sup>、钋<sup>212</sup>等。放射性同位素温差发电器的效率为6~7%。温差发电器具有无噪声、维护简

单、可长期工作等优点。但成本较高,转换效率较低,特别是放射性同位素价格昂贵,并需要复杂的安全防护措施,所以仅用于特殊场合,如人造卫星、宇宙飞船、军用小型移动电源、浮标、边远地区无人气象站、输气输油管线阴极防护站、心脏起搏器电源等。

**热离子发电器**

thermionic energy converter

热离子发电器是将热能直接转换成电能的一个二极电子管。它有发射极和集电极两个电极,电极间的腔体内充满铯蒸汽。发射极被加热后发出电子流,流至集电极并通过外电路返回发射极。用作发射极的材料有钨、钨、钽、铌、碳化锆等。集电极材料一般用钨。热离子发电器的典型热效率为10~15%,最大效率可达30%,它具有高效率和大电流密度等优点,可利用普通燃料(如煤油、石油)、放射性同位素或太阳能作热源。但需采用熔点很高的材料,制造精度要求高,制造工艺复杂,而且同位素昂贵。

**核电池**

nuclear battery

核电池是一种将放射性元素的核能直接转换成电能的一种电源。有恒流充电型、接触电位差型、充P-N结型三种。优点是使用简单,寿命长,在宇宙空间环境下可长期工作。缺点是功率较小( $10^{-8}$ ~ $10^{-6}$ 瓦),价格昂贵,需要屏蔽,仅可用于仪器中。

### 三、手摇发电机

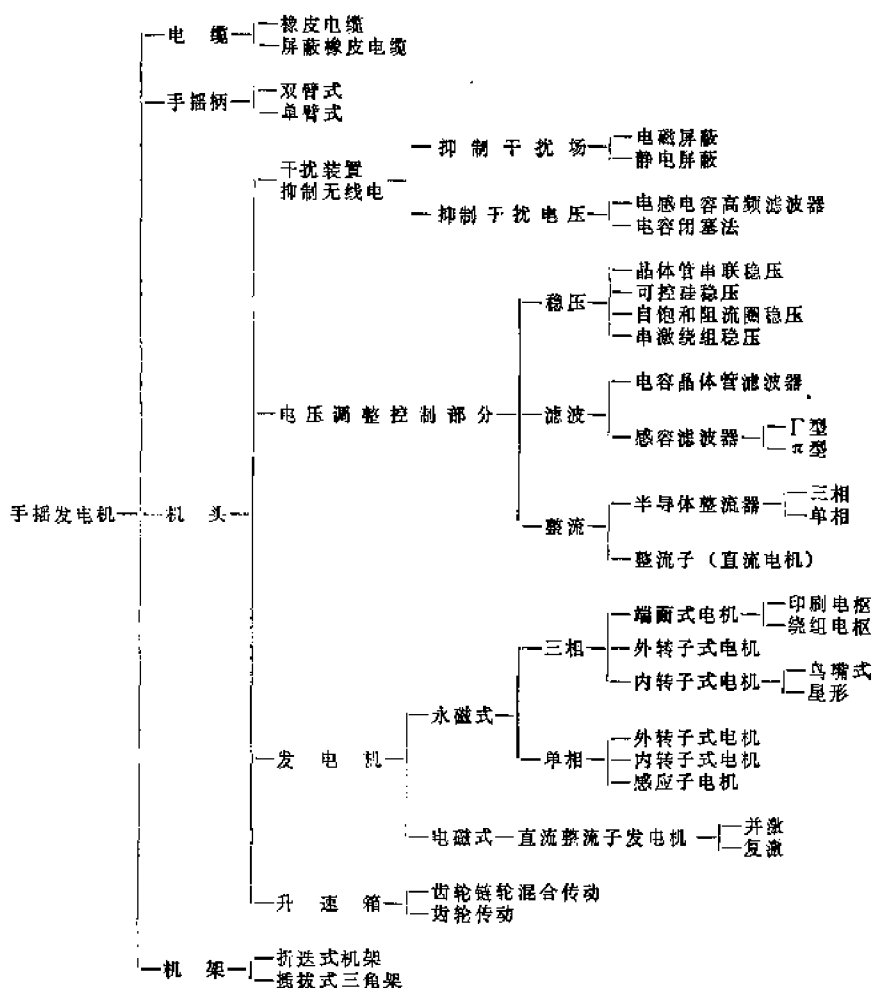
#### 手摇发电机

hand generator

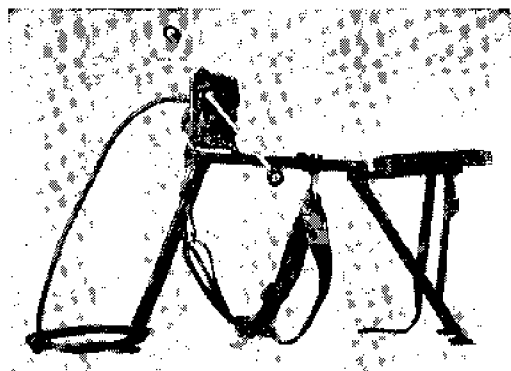
是靠人手摇来驱动的小型发电设备。其输出功率，一人摇机的一般在 70 瓦以下；两人摇机的一般在 150 瓦以下。手摇发电机多用在无线电通信设备中作直流电源，可直接供电，浮充工作或给蓄电池充电。除此之外，也可用来作为电影放映机、电烙铁及照明等的电源。由于无线电通信设备的特殊需要，以及多在野外等恶劣环境中使用，所以要求手摇发电机能输出稳定平滑的直流电压，尽量减少噪声和无线电干扰，性能可靠，结构

牢固，体积小，重量轻，便于携带背负，使用方便，维修简单，以及具备防雨、防潮、防霉菌、防盐雾等措施。

手摇发电机由机头、机架、手摇柄和电缆组成，手摇发电机全机见图示。其中机头是全机的主要组成部分。它由升速箱、发电机、电压调整控制部分以及抑制无线电干扰装置组成。工作时，将机器按图架设，用电缆将手摇发电机与电台联接起来，再将手摇柄插在摇柄轴孔内，由人驱动手摇柄，通过升速箱带动发电机转子转动，从而导至电枢绕组和磁场的相对运动，产生感应电动势，







手摇发电机实物图

其电压调整控制部分及抑制无线电干扰装置则使交流电压经整流、滤波、稳压变为稳定平滑的直流电压,同时减低噪声和无线电干扰,由电缆输出,以保证无线电通信设备的良好工作。其壳体结构主要是将机头各部分结构件装接固定为一个整体,同时具有保护、屏蔽和散热作用。手摇发电机各组成部分型式很多,详见前表。

#### 供电

supply

手摇发电机单独给电台供电的工作方式。

#### 电压调整率

voltage regulation factor

手摇发电机负荷和转速在某一范围内变化时,输出电压变化与额定电压的百分比。

#### 波纹系数

ripple factor

手摇发电机输出电压中交流分量的有效值与直流电压的百分比。

#### 无线电干扰

radio interference

大气放电或各种电气设备工作时,在电源或馈电线中所建立的寄生高频电流和电压以及在接收地点所形成的能使无线电接收变坏的干扰场。

#### 无线电干扰源

source of radio interference

指能产生无线电干扰的电气设备(电路

中不稳定的接触点、仪表、电气机构等)。

在手摇发电机中的干扰源是:(1)直流电机换向器和电刷间的火花,继电器触点开闭时产生的电弧。(2)电压调整控制线路内部的自激振荡或由于负载变化的过渡过程引起的连续频谱振荡。(3)交流发电机所产生的高次谐波。(4)手摇发电机线路中发生的高频电流和电压沿导线传播,会从导线和电缆辐射出去,在电线四周形成高频干扰场。

#### 无线电干扰电压

voltage of radio interference

在干扰源上联接外导线的端子和外壳之间所测得的高频电压。

#### 无线电干扰场

field of radio interference

干扰源工作时所产生的高频场。

#### 无线电干扰电压电平

radio interference voltage level

它的全称是“电源在各给定频率下所产生的无线电干扰电压电平”。指在各个端子与外壳之间测得的所有电压中的最高电压。

#### 无线电干扰场电平

radio interference field level

它的全称是“电源在各给定频率下所产生的无线电干扰场电平”。指当频率在0.15兆赫以上并考虑到波的极化平面,在位于辐射最强方向的一米长鞭形天线上所测得的最高电压。

#### 无线电干扰标准

standard radio interference

根据各种工业电气设备(具有干扰源的)的用途,运用条件和位置来确定的在一定频段内无线电干扰所必须的压低程度,由干扰场和干扰电压电平极限容许值标准来决定。手摇发电机的无线电干扰标准是要求在规定的频段内,距手摇发电机一米处的干扰场电平不大于18分贝,干扰电压电平不大于30分贝。

## 四、整 流

### 整流器

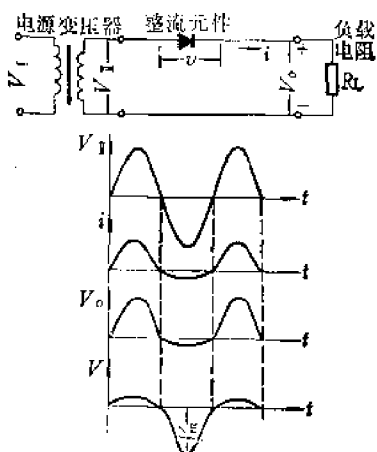
rectifier

交流电变换为直流电的过程叫做整流。实现整流的装置叫做整流器。

整流器按整流的方法不同,分为机械整流器和电子整流器。前者是利用机械运动来实现整流的;后者是利用单方向导电的器件来实现整流的。在无线电技术中广泛使用电子整流器(以下简称整流器)。

整流器中单方向导电的器件叫做整流元件(或整流阀)。按整流元件的不同,常用的整流器可分为:真空管整流器、充气管整流器、半导体整流器、汞弧整流器和可控硅整流器等。

整流器的基本工作原理是利用整流元件的单方向导电性能,把外加交流电压变为直流电压,其工作过程如图所示。当在图中电



整流器电路和波形图

源变压器的初级加一正弦交流电压  $V_1$  时,其次级将感应某一交流电压  $V_1$ 。在  $V_1$  的上端为正而下端为负时,整流元件受到正向电压而导通,通过正向电流  $i$ ,同时负载电阻  $R_L$  上产生电压  $V_0$ ;当  $V_1$  的极性改变时,整

流元件受到反向电压而阻塞,通过它的反向电流为零(或接近于零),从而  $R_L$  上的电压  $V_0 \approx 0$ 。由此可见,交流电压通过整流元件的整流作用,所得到的直流电压  $V_0$  是脉动的。

一般负载需要供给平滑的直流电压,因此在整流器的整流元件与负载之间常接有滤波器,以滤去脉动直流电压  $V_0$  的交流成份。这种滤波器叫做平滑滤波器。

还应指出,整流器通常是由具有标准电压(如220伏、380伏)的交流电网供电,而负载所需直流电压数值很不相同,因此在一般整流器中需要有变压器把标准的电网电压变到所需数值交流电压,这种变压器叫做电源变压器(或阳极变压器)。

整流器中除了整流元件、电源变压器和平滑滤波器之外,有时还加稳压器和调压装置等。

### 可控整流器

controlled rectifier

二极管整流是不可控的,即输入交流电压一定时,在负载上得到的直流电压是不能调节的;而采用可控硅元件的整流器,只要控制加在其控制极上的触发电压的时间,就能控制可控硅的导通时间,从而获得大小可调的直流电压。

可控整流电路与普通二极管不可控整流电路一样,也有单相半波、全波、三相桥式等电路形式。只是整流元件用可控硅元件取代不可控的二极管元件。此外还需有一套产生触发电压的控制电路。控制电路有阻容移相式电路、单结管触发电路,以及利用三极管构成锯齿波同步电压触发电路等多种形

式。

可控硅整流器一般由可控硅的主回路，同步电路和脉冲触发电路等三部分组成。

### 正向电流

forward current

整流元件导电方向通过的电流称正向电流。这个电流是脉动的，它的平均值叫做正向电流平均值，它的峰值叫做正向电流峰值。为使整流元件的功耗不超过容许值，通过整流元件的正向电流平均值应小于其容许值。对于某些受到阴极发射能力（或阴极开始崩溃）条件限制的整流元件，它的正向电流峰值也不应超过容许值。

正向电流平均值和峰值，在一给定的整流器中，随着整流器的负载所需的直流电流（简称整流电流）而成正比地变化。因此，为使整流元件安全工作，在设计整流器时就规定了整流电流的数值，这个数值叫做整流器的整流电流（或输出电流）额定值。

### 正向压降

forward voltage drop

整流元件的导电方向具有一定电阻（内阻），正向电流通过时产生电压降，这个电压降叫做正向压降。为使整流器具有高效率，整流器元件的正向压降应该小，同时反向电流也应该小。所谓反向电流，就是整流元件阻塞方向的电流，它是衡量整流元件质量优劣重要指标之一，应愈小愈好。

### 反向电流

reverse current; back current

见“正向压降”。

### 反向电压峰值

peak value of back voltage

整流元件在工作过程中，阻塞方向要承受电压，其最大值叫做反峰电压。整流元件所能承受的反峰电压不应超过其容许值，否则将导致整流元件的击穿。

整流元件所承受的反峰电压与整流器的

输入交流电压有一定关系，在整流线路一定时，前者与后者成正比。因此为使整流元件安全工作，在设计整流器时规定了加于整流器的交流电压有效值，这个数值叫做整流器的输入电压额定值。

### 反峰电压

peak of back voltage

即“反向电压峰值”。

### 整流系数

rectification coefficient

整流元件在外加电压方向改变时，呈现出不同导电性能，常用整流系数表示，即：

$$\text{整流系数} = \frac{\text{正向电流平均值}}{\text{反向电流平均值}}$$

### 整流效率

rectification efficiency

即“整流系数”。

### 整流器输出电流额定值

output current rating of rectifier

见“正向电流”。

### 整流器输入电压额定值

input voltage rating of rectifier

见“反向电压峰值”。

### 整流电压的脉动系数

pulse coefficient of rectifying voltage

整流元件把交流电压变为脉动直流电压  $V$ 。（见整流器），这个电压叫做整流电压。整流电压含有恒定直流和交流分量（或称波纹电压），而交流分量又可分解为基波和一系列的高次谐波。整流电压脉动程度用脉动系数表示，其定义是：

$$\text{脉动系数} = \frac{\text{整流电压的基波振幅}}{\text{整流电压的直流分量}}$$

显然，整流电压的脉动系数越小，则其脉动程度越小。整流电压的脉动程度有时也用波纹系数表示，它的定义是：

$$\text{波纹系数} = \frac{\text{整流电压的交流分量有效值}}{\text{整流电压的直流分量}}$$

显然，整流电压的脉动系数或波纹系数

越小,则所需的平滑滤波器越简单,可以减小体积和重量,比较经济。

### 整流电压的波纹系数

ripple coefficient of rectifying voltage  
见“整流电压的脉动系数”。

### 整流器输出电压调整率

output voltage regulation of rectifier

整流器负载上的直流电压叫做整流器的输出电压。对于一定的整流器,当它的输入电压为额定值时,其输出电压数值随着输出电流增加而有所下降,下降的程度叫做整流器输出电压调整率。

整流器的输出电压随着输出电流增加而下降,这是由于整流器存在内阻(它由整流元件的正向电阻、变压线圈的电阻以及平滑滤波器的直流电阻组成),内阻越大,则输出电压下降越大。

### 整流器内阻

internal resistance of rectifier

见“整流器输出电压调整率”。

### 整流器的换向电压

commutation voltage of rectifier

整流器在工作中,由于交流电网、变压器和负载均存在电感,则换相时,一相的电流不可能瞬时地降至零值,另一相也不可能瞬时地上升到额定值。由于电流不能突变,两个整流元件同时导电。输出电压为两相电压的平均值,而不是最高电压那一相的电压,故换相造成输出电压的减小。换相次数越多,每相内的电感越大,输出电压就下降得越多。

### 高真空整流管(二极管)

high vacuum rectifier tube (diode)

它是整流二极管电子管,管内保持高度真空,有一或二个阳极,前者常用于单向半波整流线路,后者常用于单相全波整流线路。这种电子管容许整流电流很小,只应用于小功率整流器中。

### 充气整流二极管

gas-filled rectifier diode

它是热阴极的充有惰性气体或汞汽的二极管。当其工作时,管内的气体分子游离,正离子向阴极运动,能中和阴极附近积聚的空间负电荷,因而正向压降比高真空整流管大为降低,提高了整流器的效率,可用于较大功率的整流器中。

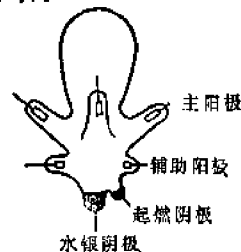
充气管整流器在使用之前,应先加灯丝电压(低压)预热几分钟,然后才能加阳极电压(高压)。长时间不用的充气管,其所需预热时间应大大增加。

### 水银整流管

mercury rectifier

常见的玻璃壳水银整流管的外形和结构如下图所示。管内除主阳极和液态水银阴极之外,还有起燃阳极和辅助阳极。在水银整流管工作时,首先是利用一定的起燃阳极电路使管内汞汽电离,电子走向主阳极和辅助阳极,而正离子则走向阴极。正离子打到阴极以后,使水银阴极产生二次电子放射,进而促使更多的汞汽电离,结果在主阳极和阴极之间形成自持放电。这样,就形成从主阳极到阴极之间的单向导电的整流作用。辅助阳极的作用,是使水银整流管在负载取去时仍能维持汞汽电离。

玻璃壳水银整流管常用于大功率整流器中,但它是依靠外界空气流动来进行冷却,这种冷却方式的效率不高,因此,它的输出功率不可能很大,一般输出电流在100安以下。如果需要更大的输出电流,必须使用铁壳水银整流管。



玻璃壳水银整流管的结构图

**汞弧整流器**


mercury-arc rectifier

即“水银整流管”。

**半导体整流元件**

semiconductor rectifier

半导体整流元件是由半导体材料与适当的金属（或两种不同性质半导体材料）接触并经过技术处理形成P-N结而制成的。如果在P-N结两端接上电压，当电压正端和P型层相接而负端和N型层相接，则结的电阻很小；当外接电压极性相反，则结的电阻很大。由于半导体整流元件具有这样强烈不对称导电性能（实际上可认为具有单方向导电性能），故可起整流作用。

半导体整流元件结构简单，使用、维护方便，寿命长，体积小，因此目前在整流器中广泛使用。在线路中，半导体整流元件以符号代表。

半导体整流元件按它所用的半导体元素来分，有锗、硅、硒、氧化铜、硫化铜等几种整流元件，其中氧化铜和硫化铜整流元件因整流性能不好，仅在特殊场合使用。

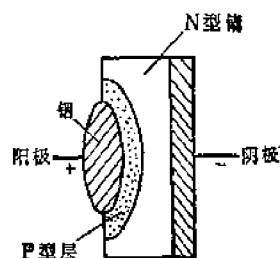
锗、硅整流元件常分别称为锗、硅二极管。这种二极管按结构形式分，有点触式、面结式和平面式的。用作整流元件的，主要是后两种。

**锗整流元件**

germanium rectifier

面结型锗二极管的结构如图所示。它由采用合金法将铜在500℃从高度真空中熔合于单晶体锗而成。它的最大反向电压峰值可达几百伏，最大正向电流平均值可达几百安，整流效率可达98%，工作温度可达到75℃，工作频率100千赫以下。

应该指出，锗二极管的工作温度升高时，则其容许反向电压和正向电流值都要下降。另外，它的电流过载能力很小，在线路中使用必须有过载保护装置。



面结型锗二极管的结构图

**锗二极管**

germanium diode

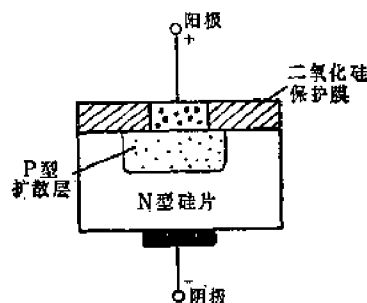
即“锗整流元件”。

**硅整流元件**

silicon rectifier

平面型二极管的结构如下图所示。在制造时先在N型硅片上用高温通氧气，形成二氧化硅保护膜，再在其上用光刻（照相腐蚀）开一窗口，进行高浓度硼扩散，获得P型层，从而形成P-N结。

硅二极管与锗二极管比较，其优点主要是可以工作在更高的温度（200℃）。



平面型硅二极管的结构图

**硅二极管**

silicon diode

即“硅整流元件”。

**整流元件的串联和并联**

series and parallel connection of rectifying element

在电压较高的整流器中，整流元件所受的反向电压较高，可以把一定数目的整流元件串联起来。在要求输出电流较大的整流器中，可以把一定数目的整流元件并联起来。

在整流元件串联或并联使用时,要求各整流元件的性能应基本上一致,否则在串联使用时各整流元件的反向电压分配不均匀,引起击穿,在并联使用时正向电流分配不均匀,引起过载。但是半导体二极管各有其自己的温度系数,不可能做到在不同温度下性能基本一致,因此有时在串联或并联时采用如图所示的均衡电阻,以使反向电压或正向电流更接近于均匀分配。当然,这样做会使整流效率略有下降。



图1 整流元件的串联

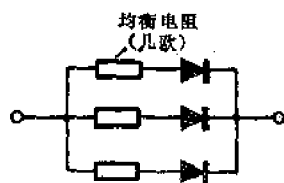


图2 整流元件的并联

### 高压硅堆

high voltage silicon rectifier stack

在高压整流器中,整流元件所承受的反向电压很高,为了满足这个要求,采用一种耐高反压高压硅堆,它是由相当多的硅二极管串接起来组成柱状体,并带有电压均衡电阻。见“整流元件的串联和并联”。

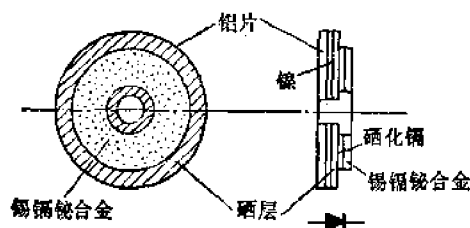
### 硒整流元件

selenium rectifier

它的基本单元是整流片,但是通常使用时是由一定数目的整流片按一定线路组成整流堆。

整流片的结构如图,其制造过程是这样:先把硒喷射到镀镍的圆形(或方形)铝片或铜片上,经过热处理后再喷上一层锡镉铋合金,硒成为P型半导体,而硒化镉成为N型半导体,因此在其间形成P-N结而起整流

作用。



硒整流元件的结构图

硒整流元件在使用或贮存过程要产生“老化”。所谓老化(或叫衰老、陈老),就是整流元件的电阻发生变化的现象。硒整流元件在使用1000~2000小时后,其正向电阻逐渐增加,这叫正向老化,它是不可恢复的;硒整流元件在长期贮存不用过程中,其反向电阻要下降,这叫反向老化,它可通过“成型”使其恢复。所谓成型,就是在硒整流元件上逐步提高反向电压,使反向电阻恢复到应有数值。

硒整流元件目前仍比较广泛应用,因为它比上面几种半导体整流元件制造工艺上简单一些,同时过载能力比较强,并在被击穿后有自动回复整流作用。

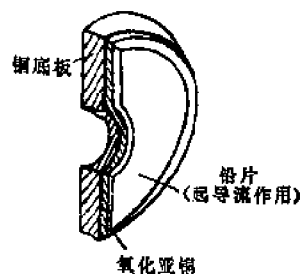
### 氧化铜(氧化亚铜)整流元件

cupric oxide(cuprous oxide) rectifier

它和硒整流元件一样,通常由一些整流片组成整流堆或整流柱。

这种整流片的结构如图所示,它是在铜底板上边,经特殊处理,形成一层氧化亚铜,并在氧化亚铜(P型半导)和铜底板(N型半导体)之间形成P-N结。

氧化亚铜整流元件的整流性能一般来说



氧化亚铜整流元件的结构图

都比硒整流元件差, 因此目前在大功率整流方面几乎完全被淘汰。但是它在小电流情况下正向电阻较小而反向电阻较大(即整流效率较高), 同时长期搁置不用基本上不影响整流性能, 所以在整流式交流电压表中普遍应用。

### 变压器的设计功率(伏安功率)

calculating power of transformer (VA power)

电源变压器的次级有时存在直流分量电流, 而初级没有直流分量电流, 因此初、次级的设计功率(即初、次级各自电压和电流的有效值相乘积, 或称初、次级的伏安功率)常不相等, 因此把初、次级的设计功率的算术平均值作为变压器的设计功率。

变压器的设计功率是进行变压器设计时必须知道的数据, 利用这个数据便可选定合适的变压器铁芯, 并从而进行绕组匝数的计算。

### 变压器利用系数

capacity factor of transformer

整流器输出功率和变压器的伏安功率之比, 定义为变压器的利用系数, 即:

$$\text{变压器利用系数} = \frac{\text{整流器的输出功率}}{\text{变压器的伏安功率}}$$

变压器的利用系数总是小于1的, 但是具体数值因整流线路不同而不同。在设计整流器时, 输出功率是给定的, 应适当地选择整流电路以使变压器的利用系数大一些, 因为这样便可使变压器的体积和重量减小, 比较经济。

### 整流线路

rectifying circuit

它是指电源变压器和整流元件所组成的电路。

整流线路的形式很多, 但常见的可根据如下特征来分类:

(1) 按电源变压器初级绕组相数分, 有

单相和三相整流线路;

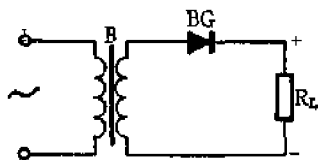
(2) 按所供交流电变化一周时, 电源变压器的每个次级绕组仅在半周内通过整流电流或正、负两半周内都通过整流电流来分, 有半波和全波整流线路。

整流器可按所用整流元件不同分类(见整流器), 也可按整流线路不同来分类。在按整流线路分类时, 整流器可分为: 单相半波、单相全波、三相半波、三相全波整流器。还应指出, 在单相全波整流器中, 如果整流元件接成电桥电路, 则通常称其为单相桥式整流器; 三相全波整流器的整流元件实质上是由三组电桥电路组成的, 故常称三相桥式整流器。

### 单相半波整流器

single phase half wave rectifier

它的整流电路如图所示。这种整流器电路最简单, 但是变压器的利用系数低, 整流元件经受的反峰电压高, 整流电压的脉动系数大, 因此仅用于小功率整流器中, 常采用半导体和高真空二极管作为整流元件。

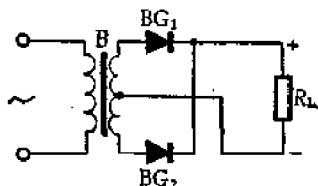


单相半波整流器电路图

### 单相全波整流器

single phase full wave rectifier

这种整流器的电路如下图所示。它与单相半波整流器比较: 变压器利用系数高, 整流电压脉动系数小, 但是变压器次级绕组需



单相全波整流器电路图

有中心抽头。

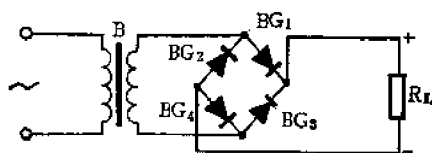
单相全波整流线路广泛应用于中、小功率整流器中,常用充气二极管、半导体二极管或双阳极真空二极管为整流元件。

### 单相桥式整流器

single phase bridge

电路如图所示。这种整流器按其整流原理来说是属于单相全波电路,但其整流元件接成电桥电路,为使区别于前一种单相全波整流电路,常称其为单相桥式的。

这种整流器电路的变压器利用系数高,广泛应用于中、小功率整流器中,适用半导体整流元件。

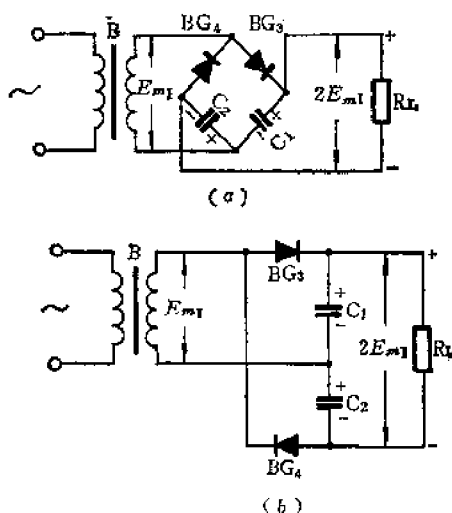


单相桥式整流器电路图

### 双倍压整流器

double voltage rectifier

在单相桥式整流电路中,把电桥下面两个臂上整流元件BG3、BG4(见“单相桥式整流器”)改为电容器C1、C2使成为如图所示的电路。这种线路虽然亦属于单相全波整流电路,但当其变压器次级绕组的电压与单相桥式的相等时,整流电压为后者的两倍,



双倍压整流器电路图

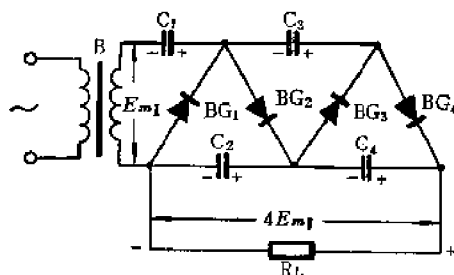
所以常称其为双倍压整流电路。

这种整流电路适用于输出高电压、小电流的小功率整流器中,通常用半导体二极管或双阳极高真空二极管为整流元件。

### 多倍压整流器

multiple voltage rectifier

在某些场合(例如阴极射线管的供电、试验耐压强度的设备中),需要整流器给出很高的电压而电流极小,常采用三倍压、四倍压或更多倍压的整流电路。在这种多倍压的整流器中,其倍压的数目与整流元件以及电容器的数目相等。例如,图中所示为四倍压整流器,必须有四组整流元件和四个电容器。

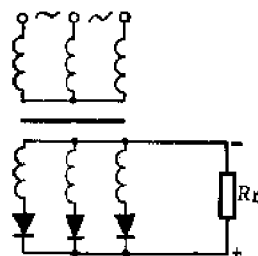


多倍压整流器电路图

### 三相半波整流器

three-phase half wave rectifier

这种整流器的电路如下图所示(初级绕组也可接成三角形)。与单相桥式电路比较,它的变压器利用系数低一些,但整流电压的脉动系数小得多。三相半波电路常用于大、中功率整流器中,其整流元件常为多阳极水银整流管。



三相半波整流器电路图

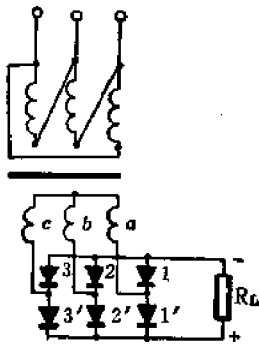
### 三相桥式整流器

three-phase bridge rectifier



电路如下图所示(初级绕组也可接成星形)。这种整流电路实质上是由三个单相桥式电路组成的,即次级绕组  $a-b$  及整流元件  $1-2-1'-2'$  为第一个;次级绕组  $b-c$  及整流元件  $2-3-2'-3'$  为第二个;次级绕组  $a-c$  及整流元件  $1-3-1'-3'$  为第三个。因此这种电路常称三相桥式整流电路。

三相桥式整流电路的变压器利用系数很高,整流电压的脉动系数很小,常用于大、中功率整流器中,采用半导体整流元件。



三相桥式整流电路图

### 可控硅整流器

silicon controlled rectifier (SCR)

前面所讲的整流器用二极管作整流元件,为使其输出电压可以调节,必须依靠外加调压装置,这种装置通常效率低而且颇笨重。

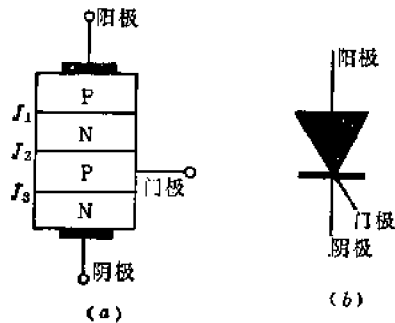
用可控硅(见“可控硅整流元件”)做整流元件的整流器叫做可控硅整流器。实现这种整流器的输出电压调节,常用触发电路,送给可控硅的控制极以不同相位的功率很小的触发信号,这就使调压装置的体积、重量大为减小,效率大为提高。

### 可控硅整流元件

SCR element

可控硅整流元件简称可控硅,它是一种新型的大功率硅半导体器件,其电气性能与闸流管类似,又称为硅闸流管。其内部是由PNPN四层半导体构成,它中间形成三个P-N结:  $J_1$ 、 $J_2$  和  $J_3$ 。有三个电极,分别为

阳极、阴极和门极(或称控制极)。



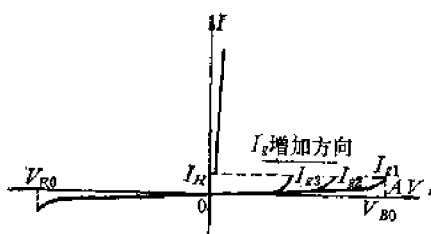
可控硅整流元件的结构与符号

如果门极不加电压,在阳极与阴极间加上正向电压时,因有反向P-N结  $J_2$  阻挡,可控硅不导通。阳极与阴极加反向电压时,有两个反向P-N结  $J_1$ 、 $J_2$  阻挡,可控硅也不能导通。所以门极不加电压,在正常情况下,可控硅两个方向都不通,处于阻断状态。如果在阴极与阳极间加上正向电压,同时在门极与阳极间也加上一个小的正向电压时(常称此电压为触发信号),可控硅就变成导通状态,通过较大的电流,但正向电压降很小(约1伏),外加电压几乎全部加到负载回路上去。可控硅一旦导通,门极就失去控制作用,即使去掉触发信号、或者触发信号极性相反,可控硅都将继续保持导通状态。要使可控硅恢复阻断必须使通过阳极与阴极间的电流(阳极电流)小于某一数值(称为维持电流,约几十毫安),或所加正向电压为零,或加上反向电压,可控硅才恢复阻断状态。可见,可控硅与一般硅整流元件相比,除具有单向导电性外,主要的是具有可控的特性,即用一个小的控制电流,就可以控制一个很大的功率(几百安培、甚至1000安培以上)。由于可控硅具有体积小、重量轻、寿命长,效率高、功率大、耐震、防潮等一系列优点,因此广泛地应用于可控整流、交流调压,无触点开关、逆变器等装置中。

### 可控硅的伏安特性

VA characteristic of SCR

常把加在可控硅阳极-阴极间两端电压的数值同流过其间电流的关系画成曲线, 其中电压用伏表示, 电流用安、毫安或微安表示, 这种电压与电流的关系, 称为可控硅的伏安特性。



可控硅的伏安特性图

可控硅的正向与反向伏安特性曲线如图所示。它的反向特性与硅二极管相似, 在反向漏电流急剧增大时, 曲线就拐弯, 这时所对应的电压为反向最高测试电压  $V_{R0}$ 。若反向电压再大, 可控硅就被反向击穿而损坏。可控硅的正向特性, 当不加门极电流时 (门极电流为零), 0A 段与反向特性相似, 在正向电压达到正向转折电压  $V_{B0}$  后, 因正向漏电流增大可控硅突然变为导通, 导通后的特性与硅二极管正向特性相似, 即通过较大的电流, 而本身正向平均电压降很小 (约 1 伏左右)。加上门极电流  $I_g$  后, 正向电压不需要到  $V_{B0}$  即可转折到导通状态, 随着  $I_g$  的增加, 在较小的正向电压下就能导通。

特性曲线上的  $I_H$  值即为维持电流, 一般为几十毫安。

### 正向阻断峰值电压

peak value of forward blocking voltage

在门极断路和正向阻断条件下, 可以重复加于正向的峰值电压。此电压规定为正向转折电压减去 100 伏。

### 正向平均漏电流

mean value of forward leakage current

在额定结温, 门极断路和正向阻断条件

下, 阳极-阴极间施加工频正弦半波正向阻断峰值电压时的平均漏电流。

### 反向峰值电压

peak value of back voltage

门极断路时, 可以重复加于反向的峰值电压。此电压规定为反向最高测试峰值电压减去 100 伏。

### 反向平均漏电流

mean value of back leakage current

在额定结温和门极断路条件下, 阳极-阴极间加以工频正弦半波反向峰值电压时的反向平均漏电流。

### 额定结温

thermal rating of junction

可控硅整流元件在正常工作条件下所允许的 P-N 结温度。在此温度下, 门极断路时, 正、反向耐压不低于该元件的阻断电压。额定结温规定为不低于  $+100^{\circ}\text{C}$ 。

### 额定正向平均电流

forward mean current rating

在规定环境温度  $+40^{\circ}\text{C}$ , 标准散热状态和全导通的条件下, 可以连续通过的工频正弦半波的正向电流平均值。此时的结温不超过额定结温。

### 正向平均电压降

forward mean voltage drop

在规定环境温度、标准散热和全导通的条件下, 元件通以工频正弦半波额定正向平均电流, 当元件温度平衡时, 阳极与阴极间的电压平均值。

### 门极触发电流和电压

trigger current and voltage of control grid

在规定环境温度及阳极与阴极间加以 6 伏峰值电压时, 触发可控硅元件使其从阻断状态转变为导通状态所需的最小门极直流电流称为触发电流, 相应的最小门极直流电压称为触发电压。

**维持电流**

maintenance current

在规定的环境温度, 门极断路、元件导通状态条件下, 要保持元件处于导通状态时所必须的最小正向电流 (即由导通转为关断时的阳极电流)。

**可控硅的正向  $\frac{dv}{dt}$  保护**forward  $\frac{dv}{dt}$  protect for SCR

可控硅器件是由一个反向偏置的PN结和两个正向偏置的PN结串联而成的。任何反向偏置的PN结都有一定的电容存在, 这样当迅速变化的正向电压加在可控硅的阳极和阴极间的时候, 就会产生位移电流。这种位移电流和可控硅的控制极电流是等效的, 到了相当的程度, 同样可以使可控硅导通, 而不管控制极是否加触发脉冲。电压变化得越快, 即  $\frac{dv}{dt}$  越高, 则位移电流越大。因此每种可控硅都有一定的承受  $\frac{dv}{dt}$  的额定值, 超过这个值, 可控硅便失去正向阻断能力。这种可控硅的误导通会使电路失控, 必须加以防止。

为提高可控硅的承受  $\frac{dv}{dt}$  的能力, 可在控制极上加反向偏置, 或者用RLC及RC和快速恢复的二极管组成的网络使加于可控硅上的正向电压变化率减小。

**可控硅的  $\frac{di}{dt}$  保护** $\frac{di}{dt}$  protect for SCR

可控硅被触发之后, 并不是整个PN结一下都导通的。阳极电流先从PN结的某一部分流过, 然后再逐渐扩展至整个PN结。因此, 若电流的上升率  $\frac{di}{dt}$  过大, 即开始流过PN结的电流太大, 则可能把这部分PN结烧毁, 使器件失效。电感中的电流是不能突变的, 因此, 我们通常采用在可控硅回路中串

联适当的电感的办法来限制电流上升率,

使之小于可控硅的  $\frac{di}{dt}$  额定值。

**可控硅整流线路**

circuit of SCR

可控硅整流器有主电路和触发电路, 主电路即整流线路。整流线路和普通整流器的线路基本上一样, 只是把整流二极管改为可控硅, 或者部分地改为可控硅, 或者外加一可控硅于普通整流线路之后。

常用线路有: 单相半波和全波, 单相半控桥式和全控桥式, 三相半波, 三相半控桥式和全控桥式等等。图中画出了几种可控硅整流线路。

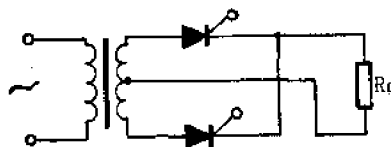


图1 单相全波可控硅整流线路

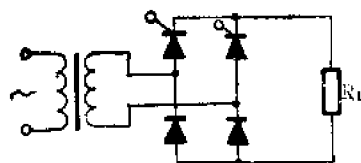


图2 单相半控桥式可控硅整流线路

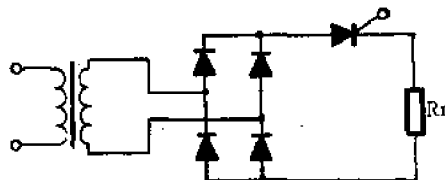


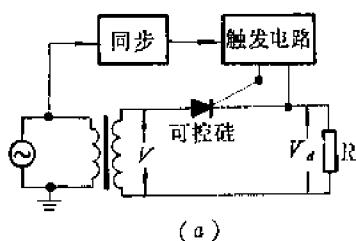
图3 用一可控硅的单相桥式可控硅整流线路

### 单相半波可控整流器

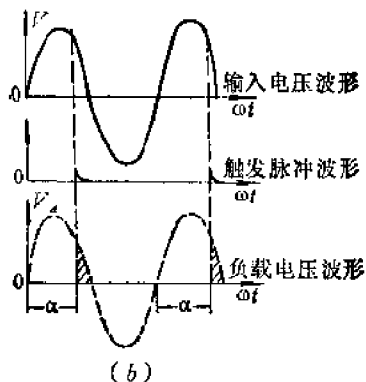
single phase half wave controllable rectifier

单相半波可控整流器电路如图(a)所示,其工作过程如下:在负半周时,可控硅不导通,在正半周时,不加触发脉冲之前,可控硅也不导通,只有加触发脉冲之后,可控硅才导通。这时负载 $R$ 上流过电流,波形参看图(b),在电流为零的时刻,可控硅自动关断,为下一次触发做好准备。同步电路保证触发脉冲总在电源周期的同一特定时刻加到可控硅的控制极上,改变触发脉冲加入时刻就可改变输出电压。

在单相半波可控整流电路中,流过可控硅的电流有效值和平均值(直流)之比较大,整流效率较低,特别在小滞后角(可控硅在正向电压下的不导通角度范围)时是如此。这就加大了变压器的体积和重量,并且势必采用高额定值的可控整流器件。



(a)



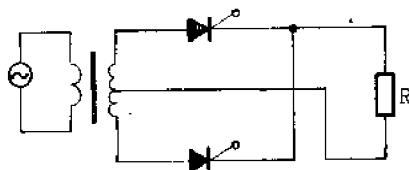
(b)

单相半波可控整流器和波形图

### 单相全波可控整流器

single phase full wave controllable rectifier

电路如图所示。它是由单相全波整流电路演变而来的,参看单相全波整流器和单相半波可控整流器即可了解其工作过程。与单相半波可控整流器相比,其变压器利用系数较高,波纹电压基频高一倍,波纹因数较小,故为小功率场合常用之可控整流器的一种。

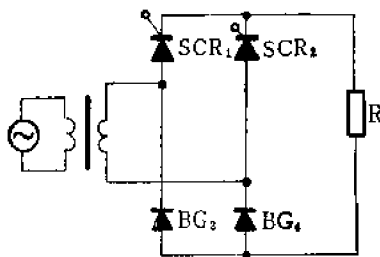


单相全波可控整流器电路图

### 单相桥式半可控整流器

single-phase half-controllable bridge rectifier

电路如图所示。它是由单相桥式整流电路演变而来。即把电桥上半部或下半部的两个不可控整流元件用两个可控整流元件代替,由于四个元件中,可控整流元件和不可控整流元件各占一半,故此得名。在同样的滞后角(可控整流元件在正向电压下不导电的角度范围)条件下,其直流输出电压与变压器次级电压之比值为半波可控整流的二倍,而电流有效值与平均值之比值仅为后者的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍。故它比较优越。

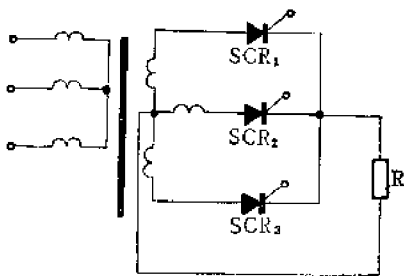


单相桥式半可控整流器电路图

### 三相半波可控整流器

three-phase half wave controllable rectifier

电路如图示。它是由三相半波整流电路演变而来。工作特点和工作过程与三相半波整流有相似性。此电路的最大滞后角（可控整流元件在正向电压下的不导电角度范围）可达  $150^\circ$ ，触发脉冲间隔为  $120^\circ$ 。当滞后角小于  $30^\circ$  时电流是连续的，大于  $30^\circ$  时就变得不连续了。它适用于波纹因数要求不高的中等功率整流场合。

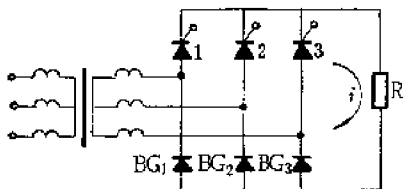


三相半波可控整流器电路图

### 三相半控桥式整流器

three-phase half controlled bridge rectifier

电路如图所示。它是由三相桥式整流电路演变而来，即其中六个不可控整流元件有三个被可控整流元件所代替。它在滞后角小于  $60^\circ$  时，电流是连续的，波纹电压基频为电源频率的六倍，当滞后角（可控整流元件在正电压下不导电的角度范围）大于  $60^\circ$  时，电流不连续，波纹电压频率为电源频率的三倍。此电路的最大滞后角为  $180^\circ$ ，触发脉冲相差  $120^\circ$ 。在滞后角为  $0^\circ$  时，每个可控硅导通  $\frac{1}{6}$  个周期。其整流性能较好。



三相半控桥式整流器电路图

### 三相全控桥式整流器

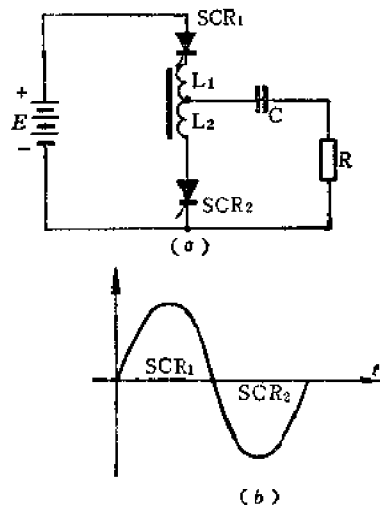
three-phase controlled bridge rectifier

把三相桥式整流器的全部二极管换成可控硅，就得此电路。与半控桥式电路相比，它的最大滞后角仅为  $120^\circ$ ，不管滞后角（可控硅在正向电压下的不导电角度范围）为何值，波纹基频总是电源频率的六倍。并且在电感负载下，不用续流二极管也能正常工作。因此使用方便，可适用于各种负载。

### 可控硅逆变器

SCR inverter

将直流电源变换成固定频率或频率可调的交流电源的可控硅装置，称为可控硅逆变器。逆变器种类很多，按不同分法有：有源或无源逆变器，串联或并联逆变器，以及单相或三相逆变器等。它可作为电子设备的电源或应急电源等。



可控硅逆变器电路

现以单相串联逆变器来说明其工作过程。当可控硅 SCR<sub>1</sub> 被触发导通时，电流经 L<sub>1</sub>、C、R 回路流通，由于 L<sub>1</sub>C 振荡，在负载 R 上得电流的正半周，同时给电容 C 充电（左正右负），若在充电电流下降为零时（此时 u<sub>c</sub> = E），触发 SCR<sub>2</sub>，则电容 C 沿 L<sub>2</sub>、SCR<sub>2</sub>、R 回路放电，又形成一次振荡，负载 R 上得到电流的负半周。在 C 放电的同时，在电感 L<sub>2</sub> 上产生感应电势（上正下负），此电势给 SCR<sub>1</sub> 施加反压，使其关断。当负半周

电流降到零时再触发 $SCR_1$ ，同时将 $SCR_2$ 关断，如此循环下去， $SCR_1$ 、 $SCR_2$ 轮流导电，负载上就可得到交流电。交流电的频率由触发信号频率决定。

### 可关断可控硅

turn-off SCR; gate controlled switch (GCS)

它的触发导通与普通可控硅一样，即在门极上加一个正向电压，便能触发导通。一旦导通后，对于普通型可控硅其门极就失去了作用，但可关断可控硅，只须在门极上加一个负的触发脉冲，就能迅速地从导通状态转为阻断状态。

由于它具有普通可控硅特性外，还具有门极可关断的特性，是理想的直流开关。可用于逆变器，直流断续器等需要强迫关断的电路中，并可简化主电路。

### 整流电路的电压浪涌抑制

voltage surge suppression in rectifier circuit

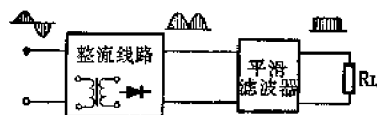
近年来，半导体整流和可控整流器件在电路中得到广泛应用。和电子器件不同，半导体器件的承受瞬时过载的能力很差，持续时间很短的大电压和电流脉冲会使半导体器件失效。我们知道，在市电电网中由于雷击和电网供电的设备的开和断，会产生几倍甚至十几倍于正常电压的电压浪涌。同时，整流器本身的通和断也会在电路中产生电压浪涌。若不加抑制，这些浪涌便可能使半导体器件失效。故在半导体整流器中必须考虑浪涌抑制的问题。常用来抑制浪涌的有：非线性电阻、电容和电阻串联而成的 $RC$ 网络等等。它们可以接在变压器的初级，也可以接在次级或者并联在整流器件上。

### 平滑滤波器

smoothing filter

各种负载（如无线电装置）对供电电压中所容许含有的交流分量（波纹电压）是有

一定限度的，但是一般整流后，电压含有相当大的波纹，因此在整流线路和负载之间常接有平滑滤波器（如图所示），根据负载要求降低整流电压的波纹。



平滑滤波器电路图

平滑滤波器滤掉波纹电压的能力叫做滤波系数，它的定义是：

$$\text{滤波系数} = \frac{\text{平滑滤波器输入端波纹电压基波峰值}}{\text{平滑滤波器输出端波纹电压基波峰值}}$$

可见，滤波系数越大则滤波能力越强。

一般平滑滤波器是由电阻、电容器、阻流圈基本元件组成。在简单情况下，只需电容器或阻流圈构成滤波器。

平滑滤波器中所用电容器叫做滤波电容器，常为电解质的。所用的阻流圈叫做滤波阻流圈，为铁芯线圈，其铁芯常留有空气隙，以防止直流引起磁饱和。工业生产上滤波阻流圈常需自行设计。所用电阻常为炭膜、金属膜或线绕电阻，线绕电阻的阻值比较稳定、容许消耗功率较大，但价格较高。

### 电容滤波器和电感滤波器

capacitor filter and inductance filter

这两种滤波器仅由一电容器或阻流圈组成（如图所示），所以叫做电容或电感滤波器。

电容滤波器的滤波作用是由于电容 $C_0$ 对于整流后电压交流分量起着旁路作用，从而负载电阻 $R_L$ 上电压的交流分量就下降了。显然 $C_0$ 越大，滤波作用越大。

电感滤波器的滤波原理是这样的，阻流圈的电感相当大，整流后电压的交流分量的大部分降落在电感上，因而负载电阻 $R_L$ 上的电压就比较平滑了。显然阻流圈的电感越大，阻流圈的滤波作用越大。

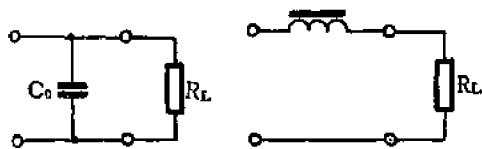


图1 电容滤波器

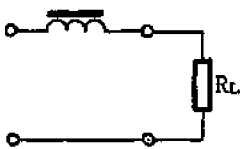


图2 电感滤波器

**LC 滤波器**

LC-filter

这种滤波器可接成倒L型、 $\pi$ 型和多节的，其电路各如图所示。

倒L型LC滤波器的滤波作用是这样的，整流后电压的交流分量一部分降落在电感 $L$ 上，同时电容 $C_1$ 又起着旁路作用，从而负载电阻 $R_L$ 上电压交流分量大为降低。

$\pi$ 型LC滤波器是在倒L型滤波器的输入端再并接电容 $C_0$ ，从而滤波系数比倒L型的增大了。如果需要再增大滤波系数，可用多节LC滤波器。

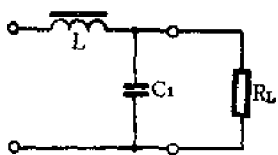


图1 倒L型LC滤波器

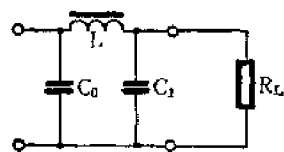
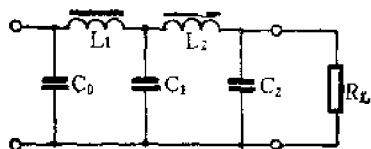
图2  $\pi$ 型LC滤波器

图3 多节LC滤波器

**电感电容滤波器**

choke-condenser filter

即“LC滤波器”。

**RC 滤波器**

RC-filter

这种滤波器有倒L型或 $\pi$ 型电路，有时为了得到两种不同整流电压，采用RC滤波器作为LC滤波器辅助滤波器。这几种电路如图所示。

RC滤波器具有较小体积和重量，并且比较经济，但是滤波电阻 $R$ 既产生整流电压的交流分量电压降，又引起直流电压降，后者应该尽可能小一些，因此RC滤波器适用于负载电阻较大而负载电流较小的场合，这时 $R$ 上直流电压降就比较小。

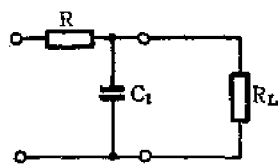


图1 倒L型RC滤波器

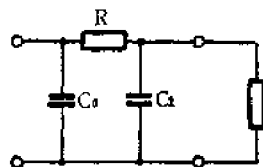
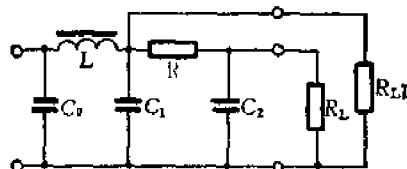
图2  $\pi$ 型RC滤波器

图3 具有RC辅助滤波器

**晶体管滤波器**

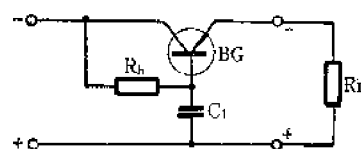
transistor filter

前面所讲的RC滤波器，如果滤波电阻 $R$ 和电容 $C_1$ 愈大，则滤波作用愈强。但是电阻 $R$ 又不能取得太大，因为 $R$ 太大直流电压损失太大；电容 $C_1$ 也不能取太大，因为 $C_1$ 太大，其体积、漏电、成本也就增加了。如何解决这个矛盾，即要求有较好的滤波作用，直流电压损失和电容 $C_1$ 又不太大？

这可采用晶体管滤波器。

图中所示为一基本晶体管滤波器。偏流电阻  $R_b$  一般是很大的，它与电容  $C_1$  组成具有很强滤波作用的  $R_b C_1$  滤波电路，使晶体管  $BG$  的基极波纹极小，从而射极波纹也极小。但由于  $I_e = (\beta + 1)I_b$ ，基极电阻  $R_b$  折合到发射极来相当于  $\frac{R_b}{\beta + 1}$ ，因此这样的滤波器的滤波作用相当于普通  $R_b C_1$  滤波器，而直流电压的损失减小了  $(\beta + 1)$  倍。此

外，晶体管滤波器的电容  $C_1$  的一端是接在基极的，它所起的滤波作用与一端接于发射极的电容  $(\beta + 1)C_1$  相当。因此晶体管滤波器较好地解决了上面提出的矛盾。



晶体管滤波器电路图



## 五、稳 压

### 稳压器

voltage regulator

能自动保持负载电压不变的装置称为稳压器。稳压器多半用在交流供电系统中, 在这里, 负载由交流电网直接供电, 或者通过整流器供电。一般交流电网的电压可能在 5~15% 的范围内变化, 这使得通过整流器供电的直流负载电压也随着变化。此外, 由于负载电流的变化也会引起负载电压的变化。因此在交流供电系统中, 时常需要稳压器来稳定负载电压。

稳压器的种类繁多, 常用下列方法分类。

按稳压器所使用的基本元件来分, 常见的有: 辉光放电管稳压器, 硅稳压管稳压器, 磁饱和稳压器, 电子管稳压器, 晶体管稳压器和磁放大器稳压器等。目前更广泛使用的是晶体管稳压器和硅稳压管稳压器。

按所稳定的电压种类, 分为交流稳压和直流稳压器, 如图所示。

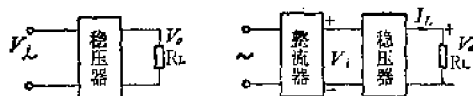


图1 交流稳压器

图2 直流稳压器

### 线性稳压器

linear voltage regulator

凡是稳压器的闭环控制系统可以看成线性调整系统的就称为线性稳压器。其中的电子管和晶体管都工作在线性放大区, 例如电子管稳压器、晶体管串联稳压器、晶体管并联稳压器都是线性稳压器。它们具有稳定度高、波纹小的优点, 缺点是效率低、体积大。

### 非线性稳压器

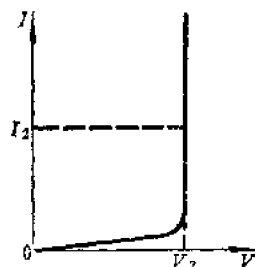
nonlinear voltage regulator

凡是用非线性伏安特性的电子器件或电磁器件组成开环或闭环控制的稳压器, 均可称做非线性稳压器。例如各种开关稳压器、磁饱和电抗器稳压器、磁放大器稳压器都属于非线性稳压器之类。非线性稳压器稳定度不够高, 波纹抑止度低, 但效率较高, 体积较小。适用于要求不严的场合。

### 参数稳压器

parameter voltage stabilizator

是利用某些电子器件在电流变化时电压保持基本上不变的非线性伏安特性(如图所示)而做成的稳压器。常用的参数稳压器有充气管稳压器和稳压管稳压器, 有时为了稳定 1 伏左右的电压也可用二极管的正向伏安特性。参数稳压器常用作闭环控制稳压器的基准电源。



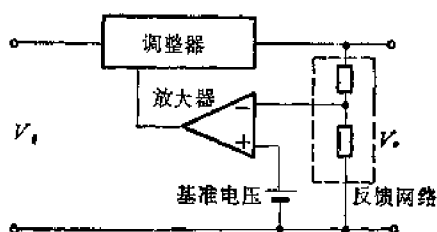
参数稳压器的伏安特性图

### 稳压器的基准电压

reference voltage of regulator

一般闭环控制的稳压器由调整器、放大器、反馈网络和基准电压四部分组成, 如图所示。输出电压的变化与作为标准的基准电压进行比较所产生的误差信号, 经过放大器放大后, 输入调整器, 使输出电压稳定。因此稳压器的稳定度不可能超过基准电压的稳定度, 一般稳压器都用参数稳压器作为基准电压。特别要求高的稳压器, 可采用标准电

池作为基准电压。



闭环控制的稳压器组成图

### 稳压器的性能参数

performance parameter of regulator

稳压器的性能参数分为两种。一种是特性参数：输出电流，输出电压和电压调节范围；另一种是质量参数，反映一个稳压电源的优劣，包括：稳压系数、输出阻抗、温度系数、波纹电压、调整时间和效率等。

### 稳压系数

regulation factor

它指在负载电流一定时，稳压器输出电压的相对变化量与输入电压相对变化量之比，即：

$$K_v = \left. \frac{\Delta V_o}{V_o} : \frac{\Delta V_i}{V_i} \right|_{\Delta I_L = 0}$$

式中  $V_o$ ——稳压器输出电压；

$V_i$ ——稳压器输入电压；

$I_L$ ——稳压器输出电流即负载电流。

稳压系数表明由输入电压变化引起输出电压变化的程度，稳压系数越小，说明稳压器的输出电压越稳定。

### 稳定度

stability

当交流电源电压在一定范围内变化，而直流稳压输出电压的绝对变化与额定输出直流电压之比，称为稳定度，常以百分数表示，即：

$$\text{稳定度} = \frac{\text{直流输出电压变化的绝对值}}{\text{额定输出直流电压}} 100\%$$

### 稳压器（稳流器）的长期稳定度

long time stability of regulator

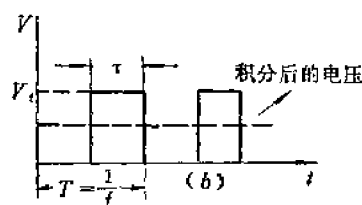
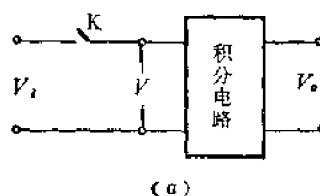
它是在额定负载、额定输入电压和一定

温度下，稳压器（稳流器）进入稳定状态之后，在一段长时间内的输出电压相对变化值。长时间稳定度是输出电压（输出电流）随时间变化的量，它与所用元件的质量及老化速度有关。

### 时间比控制

time rate control (TRC)

在图(a)所示开关稳压器原理图中，开关  $K$  以一定的频率  $f$  通断，则周期  $T = \frac{1}{f}$ ，若开关接通时间  $\tau < T = \frac{1}{f}$ ，所产生的脉冲电压通过积分电路后，其平均输出电压  $V_o$  与直流输入电压  $V_i$  之关系为  $V_o = \frac{\tau}{T} V_i = \tau f V_i$ ，控制接通时间  $\tau$  或周期  $T$  均是改变  $\tau/T$  之比值，因此我们把这种稳压控制称做时间比控制 (TRC)。其波形如图(b)所示。



时间比控制的原理及波形图

### 温度系数

temperature coefficient

是指在输入电压和负载电流保持一定时，输出电压的变化量与环境温度的变化量之比，即：

$$K_T = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta T} \right|_{\substack{\Delta I_L = 0 \\ \Delta V_i = 0}}$$

式中  $T$ ——环境温度。

它说明环境温度对稳压器输出电压影响的程度。有时也用漂移来估价温度对输出电压的

影响程度。

### 波纹电压

ripple of voltage

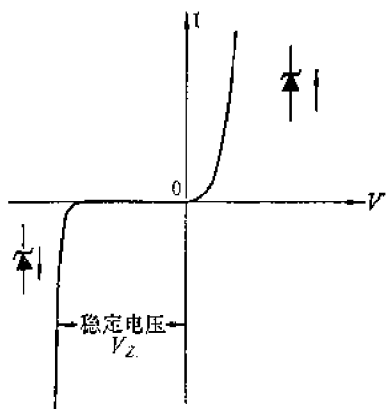
是指稳压器输出电压中的交流成分。通常用交流成分的峰-峰值表示,也有用有效值表示。

### 硅稳压管

Zener diode; silicon voltage regulator diode

又称齐纳二极管。

硅稳压管是工作在反向击穿状态下的二极管。它的伏安特性见下图。与普通二极管相比,稳压管的反向击穿特性很“硬”,即在击穿后特性很陡峭。利用这一反向电流变化很大时反向击穿电压基本不变的特性,就可以实现稳压。通常称反向击穿电压为稳定电压 $V_Z$ 。



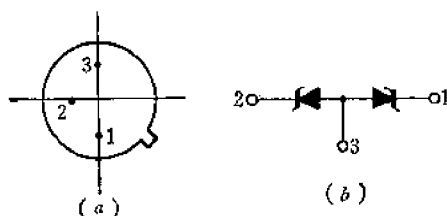
稳压管的伏安特性图

### 标准稳压管

voltage reference diode

稳定电压大于 5.3 伏的稳压管在环境温度升高时,稳定电压上升,即具有正温度系数;小于 5.3 伏的稳压管或稳压管正向运用时具有负温度系数。在精密稳压电源中往往需要零温度系数的稳压管作参考电压。为此,可以将两只相反符号温度系数的稳压管串联起来使用。根据这个原理制成的稳压管称为标准稳压管。图为一标准稳压管的电路符号,使用时,用引线 1 和 2,这样一管正向运用

(具有负温度系数),一管反向运用(具有正温度系数),可以获得零温度系数,即 $V_Z$ 基本上不随温度变化而变化。由于引线 1 和 2 是对称的,所以使用时没有极性问题。



标准稳压管的管脚和电路符号

### 稳压管稳压器

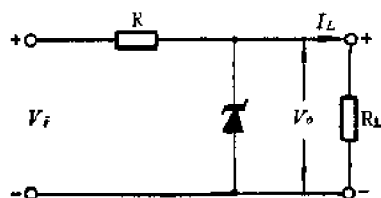
silicon Zener diode regulator

利用稳压管的反向击穿特性,可以构成如图所示的直流稳压器。图中, $R$ 是限流电阻, $V_i$ 为直流输入电压, $V_o$ 是输出电压,即稳压管的稳定电压 $V_Z$ 。

此电路的稳压原理是,在负载电阻不变时,当 $V_i$ 增加时,将引起 $V_o$ 上升, $V_o$ 稍有上升即引起稳压管电流增加很多,结果使限流电阻 $R$ 上的电压降增加,从而保持 $V_o$ 基本上不变。反之,当 $V_i$ 减小时,稳压管电流下降使限流电阻上的电压降下降而使 $V_o$ 基本不变。

在输入电压不变时,若 $I_L$ 增加, $V_o$ 就会下降,稳压管电流就下降很多,如果限流电阻选择得合适,可以使负载电流的增加量基本上等于稳压管电流的减少量,这样限流电阻上的压降基本不变而使 $V_o$ 保持稳定。在 $I_L$ 减少时,稳压管电流增加,而使 $V_o$ 基本不变。

由稳压原理可见,稳压管稳压器允许负载电流变化范围较小,一般只有几毫安~几



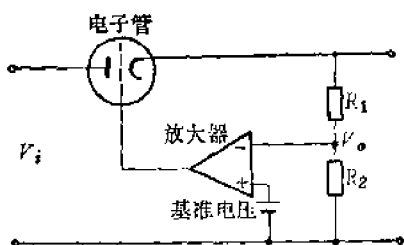
稳压管稳压器电路图

十毫安,有的可达几百毫安,并且只能输出一个固定的直流电压。但是它电路结构简单可靠,在负载电压不需调节以及负载电流变化很小的场合,仍获得广泛应用。

### 电子管稳压器

tube regulator

其电路如图所示。它是一种用电子管作调整器的线性负反馈稳压电路。把输出电压的一部分和基准电压比较,产生一个电压误差信号,经过放大器放大后加至电子管的控制栅极上,进行反向控制,使输出电压 $V_o$ 保持稳定,不受电源电压和负载变化的影响,与晶体管稳压相比,其温度漂移小,输出电流小,效率低,适合于高压小电流应用。



电子管稳压器电路图

### 串联稳压器

series regulator

典型的串联稳压器方框图如图1所示。通常由调整元件,取样元件,基准电压元件和比较放大元件等部分组成。实际的电路见图2,其中晶体管 $BG_1$ 为调整元件,电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 为取样元件,稳压管上的电压为基准电压, $BG_2$ 、 $R_c$ 组成的放大器为比较放大元件。因为调整元件与负载电阻 $R_L$ 串联,所以称它为串联稳压器。

这种电路的稳压原理是, $V_o$ 不论由于什么原因(或 $V_i$ 变化或 $I_L$ 变化)发生变化,其变化量被取样元件取下,与基准电压进行比较,这个电压差作为比较放大元件的输入信号,经放大器放大后控制调整元件,使输出电压回到规定值,从而实现稳压的目的。

典型的具有一级放大器的串联稳压器的稳压系数在 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 量级,输出阻抗在几十~几百毫欧。由于它的输出电压可以通过调节取样电阻或基准电压得到调整,功率可以做得较大,稳定性能好,所以得到极为广泛的应用。

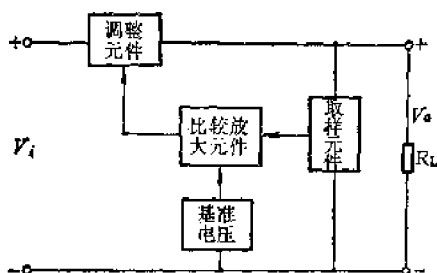


图1 串联稳压器方框图

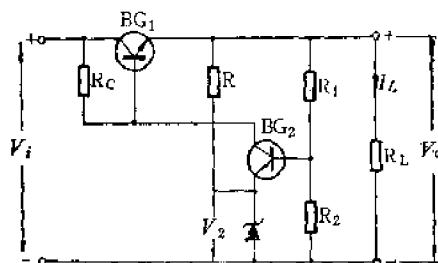
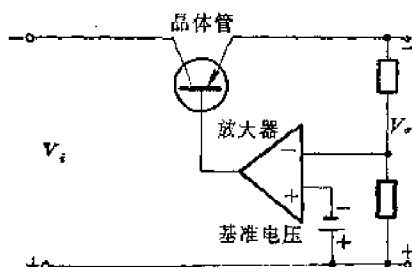


图2 串联稳压器电路图

### 晶体管串联稳压器

transistor series regulator

电路如图所示。它是一种用晶体管做串联调整器的线性电压负反馈控制系统。用电阻分压器取出输出电压的一部分与基准电压相比较,产生一个反映输出电压变化的误差信号,经过放大器放大后加至晶体管的基极上,进行反向控制,保持输出电压的稳定,不受电源电压和负载变化的影响。与电子管



晶体管串联稳压器电路图

稳压器相比, 其输出电流大, 效率较高, 适合于低电压大电流应用。

## 并联稳压器

shunt regulator

调整元件与负载电阻  $R_L$  并联的稳压器称为并联稳压器。图 1 为其方框图，图 2 为电路图，图中  $R_1$ 、 $R_2$  为取样元件，稳压管上的电压为基准电压， $BG_2$  与  $R_C$  组成的放大器为比较放大元件， $BG_1$  为调整晶体管， $R$  为限流电阻。

并联稳压器的稳压原理是，当输出电压  $V_o$  不论由于什么原因变化 ( $V_i$  或  $I_L$  变化) 时，立即被取样元件取下与基准电压相比较，其误差被比较放大元件放大后，控制调整管的电流，以改变限流电阻上的电压降，从而实现稳压。

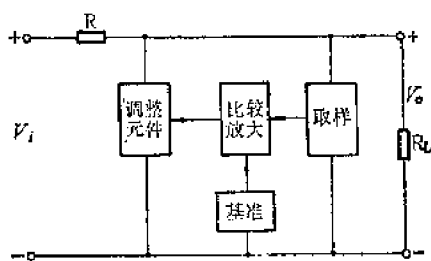


图 1 并联稳压器方框图

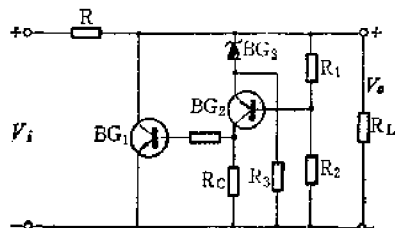


图 2 并联稳压器电路图

### 晶体管并联稳压器

transistor shunt regulator

此种稳压器是一种用晶体管作并联调整器的电压负反馈控制系统。电子有源器件工作于线性区域，因此属线性稳压器一类。

1. 直接并联稳压器：电路如图 1 所示。其中作为调整器用的晶体管是直接与负载并联。当输出电压变化时，加至放大器的电压

误差经过放大后,对晶体管的电流进行同向控制,保持输出电压稳定。其稳定度和效率均不够高,输出电压受晶体管耐压限制大。

2. 间接并联稳压器：电路如图 2 所示。它是克服直接并联稳压器不能输出高电压的缺点的。作为调整器的晶体管和稳压输出电路均是作为变压器的并联等效负载出现，分属于不同的次级绕组Ⅲ和Ⅱ。当高压变化时，通过反馈控制系统使晶体管电流作同向变化，补偿其变化，保持输出电压稳定，不受电源电压和负载变化的影响。

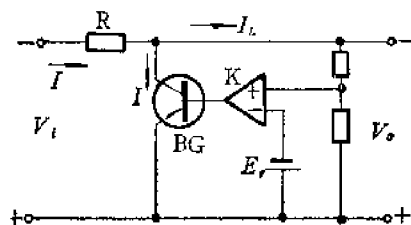


图 1 直接并联稳压器

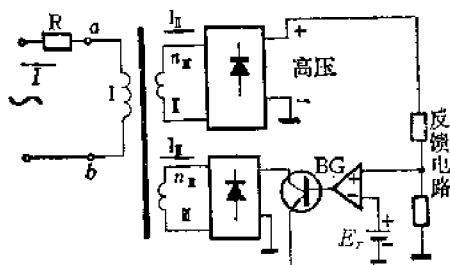


图 2 间接并联稳压器

### 磁饱和阻流圈·稳压器

saturated reactor voltage regulator

这种稳压器是稳定交流电源电压的装置。图 1 为原理图, 其中  $L_1$  是一只不饱和铁芯的阻流圈, 而  $L_2$  则是一只饱和铁芯的阻流圈。图 2 为电流电压图 (伏安特性)。

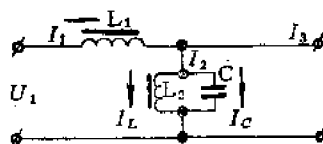


图 1 磁饱和阻流圈稳压器原理图

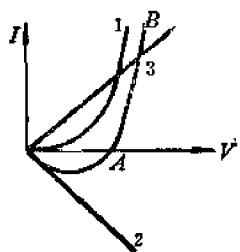


图2 伏安特性

曲线1为饱和铁芯阻流圈 $L_2$ 伏安特性；曲线2为电容 $C$ 的伏安特性；3为 $L_2C$ 并联后伏安特性曲线。由图看出在曲线3的 $AB$ 区段具有稳压性能。因此，当输入电压 $V_1$ 或负载电流 $I_2$ 变动而引起 $I_2$ 在 $AB$ 区段内变化时， $L_2$ 两端即输出两端的电压可基本上不变。

图3所示为一般实用电路，线圈 $L_3$ 与阻流圈 $L_1$ 是绕在同一铁芯上，可以更好地稳定电压。此种稳压器的主要缺点是对频率变化甚灵敏，通常频率变化1~2%就会引起电压变化2~3%。此外，这种稳压器还会引起电网功率因数下降。

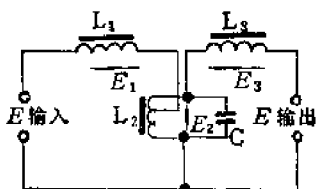


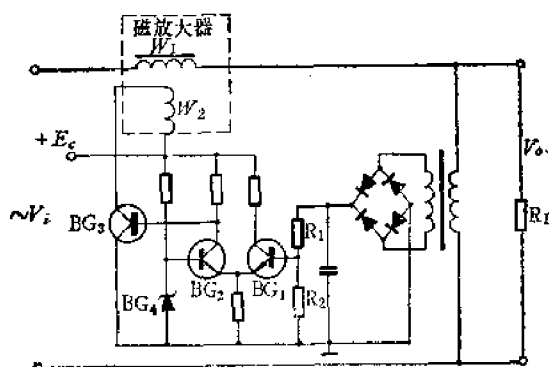
图3 实用的磁饱和阻流圈稳压器原理图

### 磁放大器稳压器

voltage regulator with magnetic amplifier

利用磁放大器作为调整元件，可以组成如图所示的磁放大器交流稳压器。图中 $R_1$ 、 $R_2$ 为取样电阻，稳压管 $BG_4$ 上的电压为基准电压， $BG_1$ 、 $BG_2$ 组成比较放大器， $BG_3$ 作功率驱动用。磁放大器的交流绕组 $W_1$ 与负载串联，控制绕组 $W_2$ 的电流受放大器控制，由于磁放大器工作在线性放大区，所以上述稳压器是一个串联线性稳压器。

这个电路的稳压原理是这样的，当输出电压由于输入电压或负载电流变化而上升时，立即被取样电阻取下与基准电压相比较，使 $BG_2$ 集电极电位上升，磁放大器控制绕组内电流下降，交流绕组 $W_1$ 的感抗增加，而使 $W_1$ 上的电压上升，从而使 $V_o$ 获得稳定。当输出电压下降时，发生了相反的过程。



磁放大器交流稳压器电路图

### 开关稳压器

switching regulator

调整元件工作在开关状态的稳压器称为开关稳压器。工作在开关状态的调整元件称为调整开关，有晶体管，可控硅，饱和扼流圈等。调整开关采用晶体管的直流稳压器叫做晶体管直流开关稳压器，其方框图和电路如下图所示。图中 $R_1$ 、 $R_2$ 为取样电阻、稳压管 $BG_{11}$ 上的电压为基准电压， $BG_1$ 、 $BG_2$ 组成的差分放大器为比较放大器。 $BG_5$ 、 $BG_6$ 、 $BG_3$ 、 $BG_4$ 组成的电压控制多谐振荡器，产生一定频率的脉冲。 $BG_7$ 、 $BG_8$ 为功率驱动用。 $BG_9$ 为调整开关。由于调整开关与负载是串联的，所以上述稳压器是串联开关稳压器，与线性串联稳压器相比，串联开关稳压器多了两个元件，一是滤波器( $L$ 、 $C$ 、 $BG_{10}$ 组成)，一是脉冲振荡器，振荡器输出脉冲电压，来控制调整开关，使调整晶体管工作在开关状态(即饱和与截止状态)。

设稳压器开关周期为 $T$ ，导电时间间隔为 $t_1$ ，截止时间间隔为 $t_2$ ，则工作周期

$\tau = t_1/T$ 。当稳压器输出电压为规定值时,调整晶体管以一定的  $\tau$  工作。在开关导通期间,电源输入电压通过  $BG_9$ 、滤波器电感  $L$  向电容  $C$  充电,此时  $BG_{10}$  截止;在开关关断期间,贮存在  $L$  中的磁能和电容  $C$  中的电能向负载释放,通过  $BG_{10}$  构成通路,所以  $BG_{10}$  称为续流二极管,电容器上的电压即为输出电压,电容器上电压的交流成分就是波纹电压,它取决于开关工作频率和  $LC$  的大小,开关工作频率愈高,  $LC$  愈大,波纹电压就愈小。

当输出电压由于输入电压或负载电流变化而变化时,稳压器能自动地改变调整晶体管  $BG_9$  的工作周期  $\tau$ , 来使输出电压稳定。例如当输出电压上升,经过取样与基准电压相比,这个电压差经  $BG_1$ 、 $BG_2$  组成的放大器放大后控制  $BG_5$ 、 $BG_6$ ,使多谐振荡器的输出脉冲导电时间间隔减小,于是调整管的  $t_1$  减小,即  $\tau$  减小,所以输出电压下降到规定值。当输出电压减小时,多谐振荡器的输出脉冲导电时间间隔增大,于是调整管的  $t_1$  增大,即  $\tau$  增大,所以输出电压上升到规定值。

由于调整管工作在开关状态,与线性稳压器相比,开关稳压器的一个主要优点是具有较高的效率,因而电源体积小,重量轻,它特别适用于航空和宇宙飞行器等方面,目前电子计算机等电子设备也广泛地采用开关稳压器供电。但是它的调整时间通常比线性稳压器长,输出的波纹电压也相应地较大。

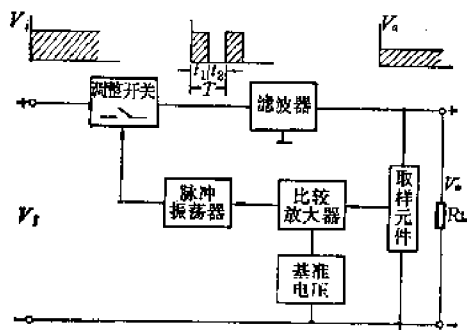


图1 晶体管直流开关稳压器方框图

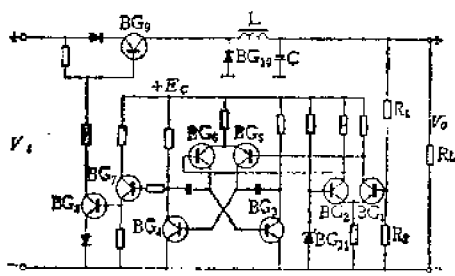
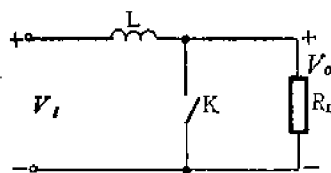


图2 晶体管直流开关稳压器电路图

### 升压开关稳压器

boost switching regulator

这是一种输出电压高于输入电压的直流开关稳压器。电原理图如图所示。开关  $K$  闭合,电源电压  $V_i$  加于电感  $L$  上,使电感贮能;开关  $K$  断开,电感产生感应电压与电源电压相叠加对负载  $R_L$  供电。控制开关  $K$  的通断时间的长短,就可控制输出直流电压,达到稳压目的。此种电路适用于低电流负载场合,其稳定性较低。开关  $K$  可用可控硅和晶体管做成。

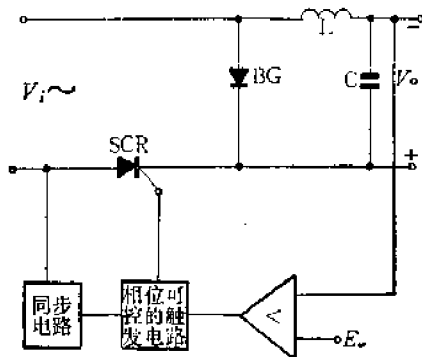


升压开关稳压器原理图

### 可控硅相位控制稳压器

SCR phase-controlled regulator

电路如图所示。其工作原理见“可控整流器”,将输出电压的变化与基准电压比较而得的误差信号放大之后去控制触发脉冲的



可控硅相位控制稳压器电路图

相位就可以达到稳压的目的。 $D$ 、 $L$ 、 $C$ 组成积分电路,使输出电压等于整流脉冲的平均值,其效用与开关稳压器中的积分电路同。此类稳压器体积小、重量轻、效率高,但稳定度不高,且会对电网波形造成畸变。其特点就是把整流作用和电压调整作用由一个可控硅来完成,使电路简化。

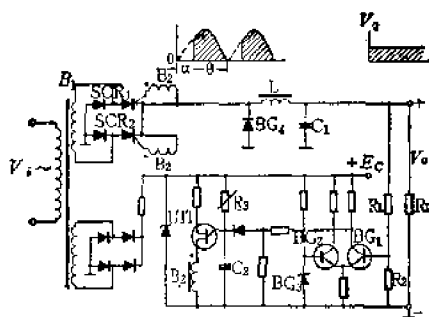
### 可控硅直流稳压器

#### SCR D-C regulator

利用可控硅 SCR 作调整元件的直流稳压器,叫做可控硅直流稳压器。由于可控硅工作在开关状态,所以它也是一种开关稳压器。其方框图与晶体管直流开关稳压器方框图相同,电路图见图。图中,  $R_1$  和  $R_2$  为取样电阻,稳压管  $BG_3$  上的电压为基准电压,  $BG_1$ 、 $BG_2$  组成比较放大器。 $R_3$ 、 $C_2$ 、单结晶体管 UJT 和变压器  $B_2$  组成脉冲振荡器,产生的脉冲用来触发可控硅  $SCR_1$  和  $SCR_2$ ,振荡脉冲的相移受比较放大器控制。两个可控硅既用作整流,又用作调整开关。 $BG_4$ 、 $L$ 、 $C_1$  组成滤波器用来平滑整流后电压的脉动成分。

设可控硅在正向电压下不导通的范围称为控制角(有的叫截止角或触发延迟角),用  $\alpha$  来表示,而导电的范围称作导通角,用  $\theta$  表示。当稳压器输出电压为规定值时,可控硅的导通角为一定值。而当输出电压由于电网电压或负载电流变化而变化时,这个变化被取样电阻取下与基准电压相比,其差值经放大器放大后控制振荡器输出的触发脉冲的相移,使可控硅导通角  $\theta$  改变,来增加或减小直流输出电压。

与晶体管开关稳压器相比,它的开关频率低(整流后电压的基波频率),因此  $LC$  的体积较大。此外调整时间,稳压系数,波纹电压等都不及前者。但是可控硅稳压器可以获得上千瓦甚至更大功率的输出,效率也较高。



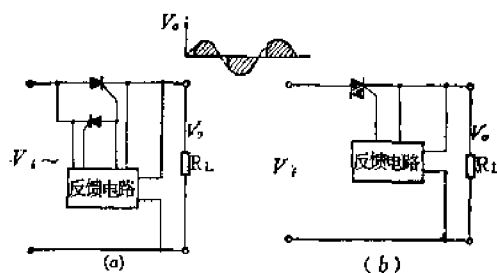
可控硅直流稳压器电路图

### 可控硅交流稳压器

#### SCR A-C regulator

利用两个反向并联的可控硅或一个双向可控硅作为调整开关元件,就可以组成可控硅交流稳压器,如图(a)和图(b)。图中反馈电路包括通常有的取样元件,基准电压元件,比较放大器和脉冲振荡器等。其输出电压可以直接供给负载,也可以通过自耦变压器或升压、降压变压器以后再供给负载。

由于输出电压波形为截去一部分的正弦波,为了改善波形,在主回路中可以加入抑制高次谐波的滤波器。



图(a) 采用二个反向并联的可控硅的交流稳压器

(b) 采用双向可控硅的交流稳压器

### 集成稳压电源

#### integrated-circuit voltage regulator

随着仪器、仪表、无线电设备的小型化,要求供电设备相应地也要小型化。集成稳压电源就是为满足上述要求而生产的。它把基准元件、比较放大元件和调整元件完整地组合在一块硅片上,因而具有体积小,稳定性高,输出阻抗小,温度性能好等优点,特



别适用于分散供电的场合。

### 稳压器的保护

protection of voltage regulator

采用半导体器件（如晶体管，可控硅等）作稳压器时，都要碰到如何安全使用这些半导体器件的问题。在稳压器中，特别是串联稳压器（包括线性的和开关的）中，往往由于稳压器输出端过载或短路，即使是时间极短的瞬时过载或短路，都可能使调整管损坏。为了保护调整管，采用一般的熔断丝，那怕是快速熔断丝，效果也不佳。因此，必须采用动作快的保护电路。常用的保护电路有限流型和截流型两种。

### 限流保护

current-limiting protection

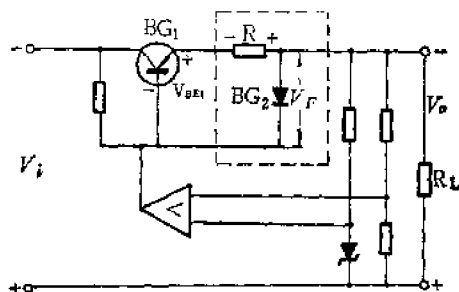
所谓限流保护，是指当稳压器的输出电路中一旦发生过载或短路时，其输出电流将被限制在某一数值上。在图示的串联稳压器电路中电阻  $R$  和二极管  $BG_2$  就构成了限流保护电路。这种保护电路适用于调整管发射结正向压降  $V_{BE1}$  低于二极管正向压降  $V_F$  的情况。例如晶体管采用锗管， $V_{BE1}=0.2V$ ，而  $BG_2$  采用硅管， $V_F=0.7V$ 。如果采用同一种材料的管子，则可以适当增加二极管的数目来满足要求。

在稳压器正常工作时，应该有下面关系：

$$I_L \cdot R + V_{BE1} < V_F$$

因此，二极管  $BG_2$  截止。当负载电流超过规定值时，有下列关系：

$$I_{L \max} \cdot R + V_{BE1} = V_F$$



限流保护电路图

$$I_{L \max} = \frac{V_F - V_{BE1}}{R}$$

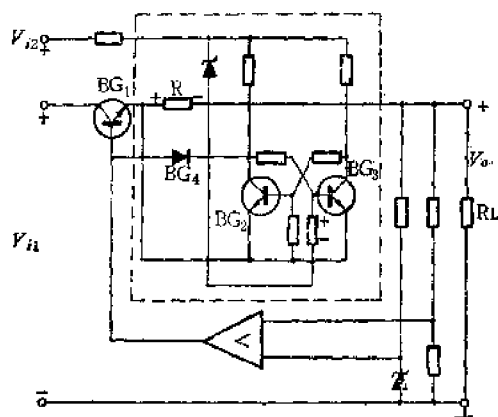
由于二极管导通，且  $V_F$  基本上是一常数，所以负载电流限制在  $I_{L \max}$  上，起到了限流保护作用  $BG_1$  的作用。

### 电流截止保护

current cutting-off protection

截流保护是当稳压器输出电流超过规定值或输出短路时，保护电路的取样电阻上送出一个信号使调整管输出电流阻断，使输出电压电压为零。

图示的双稳态保护电路就是一种截流保护电路。图中  $BG_2$  和  $BG_3$  组成双稳态触发器， $R$  是保护电路取样电阻。在稳压器正常工作时，触发器的  $BG_3$  饱和， $BG_2$  截止。因此二极管  $BG_4$  处在反向偏置，此时稳压器和保护电路被二极管  $BG_4$  隔离。当稳压器出现过载或短路时， $R$  上的电压降使  $BG_2$  转为截止， $BG_2$  饱和。此时二极管  $BG_4$  导通，促使调整管  $BG_1$  截止，而使稳压器输出电压电流为零，起到了截流保护  $BG_1$  的作用。



电流截止保护电路图

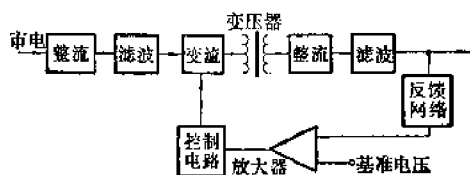
### 无电源变压器电源

non-transformer power supply

1. 无电源变压器整流电源：此种电源就是直接把交流电源整流成直流电源，不再使用电源变压器，这就大大降低了电源设备的造价并提高了电源设备的效率。并且使电子设备的电源装置大为简化，降低其体积重量，

便于应用和普遍推广。如扩音机、收音机等电子设备均可用此种电源。在电视机中采用无电源变压器整流还可消除因电源变压器的漏磁场对偏转磁场的影响,以提高图像质量稳定性。

2. 无电源变压器稳压电源:其方框图如下图所示。它是在无电源变压器整流电源之后,再用高频变压器把输出的高频电压经过高频变压器变压后再整流滤波成直流电压,直流电压经过一套反馈闭环控制电路,产生控制变流器的控制信号,使输出直流稳定。变流器的高频为市电频率的数十倍至数百倍,大大降低变压器B的体积重量和滤波器的体积重量,同时还减少稳压器的瞬态恢复时间。它的应用日益广泛。

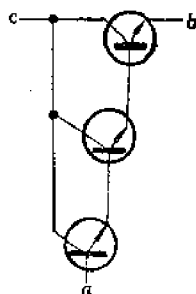


无电源变压器电源方框图

### 晶体管的达林顿连接

transistor Darlington connection

在晶体管稳压器输出电流较大时,作为调整器的晶体管就用多级共集电极直接耦合电流放大器代替,这就是达林顿连接。如图所示,这种电路在分立元件稳压器或集成稳压器中均可采用。其电流放大系数为每个晶



达林顿连接图

体管电流放大系数之乘积,用三个晶体管,电流放大总增益可达  $10^5 \sim 10^6$  倍。

### 稳流器

current regulator

稳流器是用来稳定电路电流的,即在输入电压和负载阻抗变化的情况下,它能够保持负载电流不变。

稳流器用于供电给:具有磁偏转的阴极射线管的聚焦线圈;对灯丝电流变化很灵敏的电子管灯丝;特殊电磁铁的线圈;输出电压与转速严格成比例的测速发电机的激磁线圈;磁放大器中安匝数不可以改变的线圈;高稳定的稳压电源中的标准稳压管。

稳流器的基本形式如图1和图2,图中  $R_N$  为取样电阻,稳压管提供基准电压,  $BG_2$ ,  $R_C$  组成比较放大器,  $BG_1$  为调整元件。这个电路的稳流原理是:当负载电流由于输入电压或负载阻抗变化而增大时,  $R_N$  上压降增大,与基准电压比较使  $BG_2$  基极电流增大,集电极电流增大,调整管  $BG_1$  的基极电流减

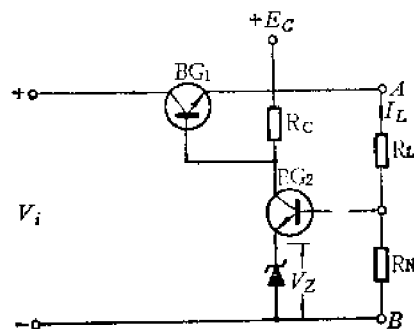


图1 稳流器电路之一

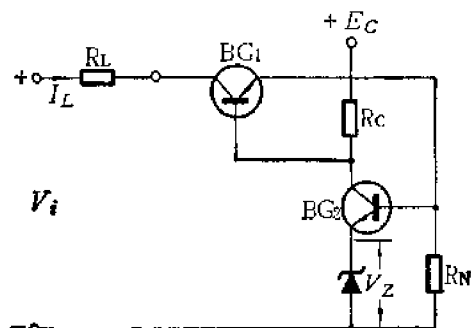


图2 稳流器电路之二

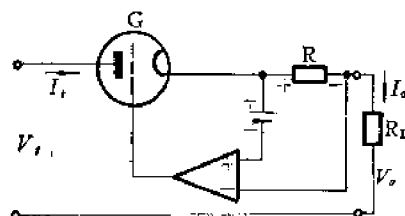
小,从而使集电极电流减小,使 $I_c$ 获得稳定。  
当负载电流减小时,发生了相反的过程。

### 电子管稳流器

tube current regulator

电路如图所示。它是一种用电子管作调整器的线性电流负反馈控制系统。把由电阻 $R$ 上取出的反映输出电流变化的电压与基准电压比较,产生一个误差信号,经放大器放大后,加至电子管的控制栅上进行反向控制,

使输出电流保持稳定,不受电源电压和负载变化的影响。它适合于低电流高电压应用。



电子管稳流器电路图

## 六、变 流

### 变流

inversion

有时一般的电源不能满足负载的要求,例如电池电源,直流发电机电源对许多电子设备是不能直接使用的,因此,必须把它变换成通常的交流电源(如50赫/220伏、400赫/115伏的交流电源),以便适合于更多的电器与电子设备使用。我们把这种直流电变成交流电的过程称为变流。

### 变流器

inverter

把直流变成交流的装置称为变流器。由于大功率高压晶体管和功率高频可控硅的发展,变流器在不间断供电电源、稳压器、便携式电子设备和空间电子设备中获得广泛应用。它的应用使得稳定与可控电源设备的体积、重量减小,可靠性和效率提高。

### 变流效率

inversion efficiency

它是变流器的重要参数,一般定为输出交流功率(通指交流基波)与输入直流功率之比。晶体管与可控硅变流器的变流效率在60%至95%之间。

### 变流器的输出谐波系数

harmonic factor of inverter output voltage

变流器输出电压的 $n$ 次( $n$ 为大于1的正整数)谐波振幅值与基波振幅之比值称做输出电压的 $n$ 次谐波系数。

变流器总谐波有效值与基波有效值之比值称做输出电压的谐波系数。

### 单端变流器

single end inverter

单端变流器就是输出功率级采用单管放大的它激变流器或自激单管变流器,其输出功率不大,并且变压器有直流磁化,因此变流效率比较低。

### 推挽变流器

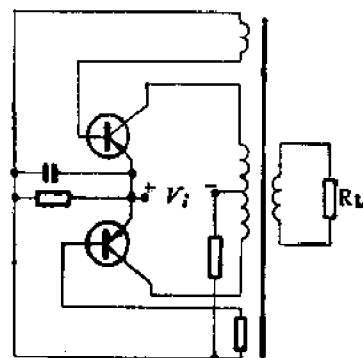
push-pull inverter

推挽变流器是指输出管电路接成推挽形式的自激变流器或它激变流器。其输出功率比单端变流器大,变压器无直流磁化,效率高,故获得广泛应用。

### 晶体管自激变流器

transistor self excited inverter

最简单的自激变流器,就是一个单管磁耦合间歇振荡器,其振荡频率与输入直流电压成正比。晶体管工作于开关状态,输出变压器工作在饱和状态,并存在直流磁化,故输出功率不高,效率较低。为了克服其缺点,采用推挽电路,如图所示。它实际上由两个单管磁耦合间歇振荡器组成,是常用的一种电路。其优点是简单可靠,但其频率与电压不容易控制,同它的改进型推挽电路相比,效率仍不够高、不够稳定。

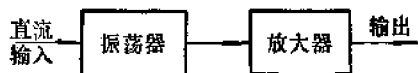


晶体管推挽式自激变流器电路图

## 晶体管他激变流器

transistor external excited inverter

他激变流器是把自激变流器中的振荡和功率放大两种功能分别用一个方波振荡器和开关型功率放大器来完成。其方框图如图所示。这样提高了变换效率和改善了负载调整率,并且提高了输出频率稳定性。输出可用多个开关功率放大器通过同一个变压器耦合,而振荡器可共用一个,这样不但提高了输出功率,而且在变流器多重连接时便于同步。采用适当方法,可以控制它的输出电压和频率,不需要像自激变流器那样,只有控制直流输入电压才能控制输出电压和频率。总之他激变流器应用于要求大功率高变流效率的场合。



晶体管他激变流器方框图

## 可控硅变流器

SCR inverter

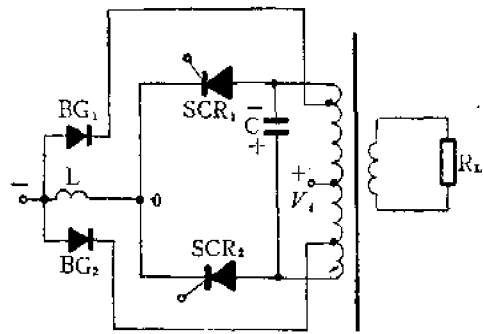
变流器中的开关元件采用可控硅就称可控硅变流器,它的输出功率可达数百瓦至数千瓦,但为保证可控硅可靠换流,要采用特别的换流电路和控制电路。它的电路比晶体管变流器复杂,电磁干扰大。

## 可控硅并联电容换流变流器

SCR parallel capacitor commutated inverter

这是一种换流电容器与输出变压器初级并联的两个可控硅管变流器。电路如图所示。两个可控硅交替导通,把电源电压  $V_i$  交替地加在变压器初级的上下两半上,产生方波输出电压。在此可控硅起到开关的作用。电感  $L$  限制电路中产生的电流上升率不要超过可控硅的额定  $\frac{di}{dt}$  值。两个二极管  $BG_1$ 、 $BG_2$  起箝位和反馈作用,使输出电压波形(方波)

不受负载变化的影响,并且把感性负载的储能及电感的储能反馈到电源中,降低功耗,提高效率。由于变压器耦合作用,电容器上的最高充电电压为  $2V_i$ ,它就是用这个电压来把可控硅关断的。在此电路中一个可控硅导通就导致另一个的关断,反之亦然。

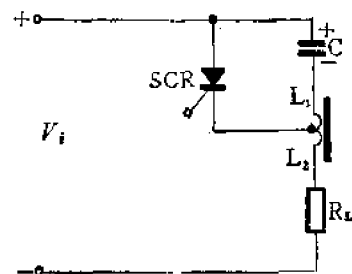


可控硅并联电容换流变流器电路图

## 摩尔根电路

Morgan circuit

摩尔根电路是一种电感电容换流可控硅振荡变流器,用于直流电压的稳压和调压。其特点是仅用一个可控硅而换流电感为饱和电感,这样简化了控制电路和改善开关特性,并降低了换向电感体积。电路如图所示,在初始条件下,电容器  $C$  充电,极性如图所示,电感处于正向磁饱和。若在某一时刻可控硅加触发脉冲使其导通,负载电流通过 SCR、电感  $L_2$  和负载  $R_L$ ,使电感退去饱和,同时电容器  $C$  经过  $L_1$  和可控硅放电,在电感未饱和前,放电是很慢的,当电容器的放电使电感铁芯反向饱和时,放电加速。放电完毕后由  $L_1$  与  $L_2$  的自耦变压器作用,电容又反向



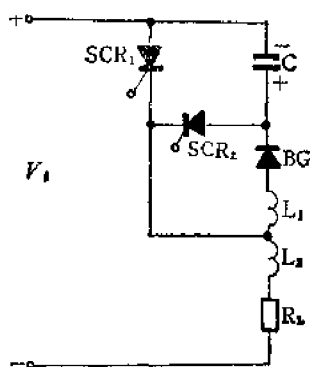
摩尔根电路图

充电, 此反向充电电流超过负载电流时, 可控硅就关断, 因为它的方向与负载电流相反。 $V_1$  继续经过  $L_1$ 、 $L_2$  和  $R_L$  对  $C$  正向充电, 回复到初始条件。为下次换流做准备。这就完成一个工作周期。

### 琼斯电路

Jones circuit

此种电路是一种性能比较优良的电感电容换流的可控硅振动变流器。实际上是摩尔根电路的改进型, 但要多加一个可控硅和一个二极管, 增加了电路的复杂性。电路如图示。若  $SCR_1$  首先导通, 负载电流经过  $SCR_1$ 、 $L_2$  和  $R_L$ 。由于  $L_1$  与  $L_2$  之间的耦合作用, 使电容器充电, 其极性如图示, 二极管是防止电容的充电电压受负载的影响。当  $SCR_2$  触发导通后, 电容充电电压作为反向电压加于  $SCR_1$  使其关断。电容  $C$  则经过  $SCR_2$ 、 $L_2$  和  $R_L$  反向充电, 反向充电完毕后,  $SCR_2$  关断。在此电路中由于  $L_1$  与  $L_2$  的耦合作用, 使得电容充电电荷随负载电流增多, 故使可控硅加反压的时间增长, 保证了可靠换向, 这是此电路的主要优点。



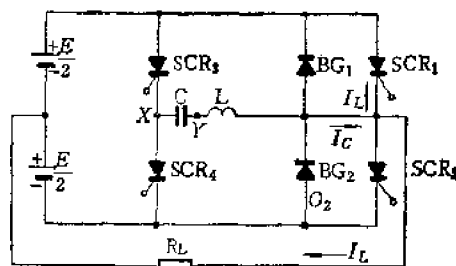
琼斯电路图

### 麦克莫莱变流器

McMurray inverter

这是一种用电感电容串联谐振换流可控硅的变流器。其换流损耗小, 反向电压时间随负载增大而自动延长, 输出波形几乎与负载无关; 但电路复杂, 需用四个可控硅管和

两个二极管。其电路如图所示。若  $SCR_1$  首先导通, 并且电容器充满电荷,  $y$  点电位高于  $x$  点电位。为使  $SCR_1$  换流就要触发  $SCR_3$  使其导通, 这时放电电流脉冲经过  $L$ 、 $SCR_1$  和  $SCR_3$ ,  $SCR_1$  的电流为负载电流与放电电流之差, 当放电电流  $I_c$  超过负载电流  $I_L$  时,  $SCR_1$  关断。这时二极管  $BG_1$  导通放电电流  $I_c$ , 当  $I_c$  接近零值时, 即  $SCR_3$  导通后  $\pi\sqrt{LC}$  的时间, 触发  $SCR_2$  使其导通, 使电容器反向充电至满电荷, 这样只要触发  $SCR_4$  就可关断  $SCR_2$ , 就完成一个工作周期。用此电路接成单相桥式电路和三相电路较为方便。



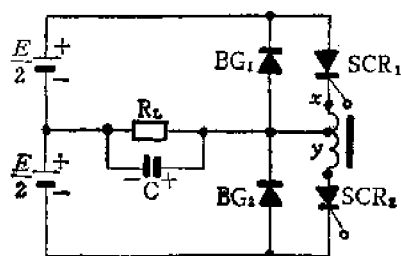
麦克莫莱变流器电路图

### 麦克莫莱-贝德佛特变流器

McMurray-Bedford inverter

此种变流器是利用自耦变压器中两半部分的紧耦电感与负载上的并联电容组成  $LC$  换流电路的可控硅变流器。电路如图所示, 其中的两个可控硅用作开关元件, 两个二极管为换流反馈二极管。若  $SCR_1$  首先导通, 电容  $C$  充电至  $E/2$ , 极性如图示。在  $SCR_2$  导通时, 则  $y$  点和  $z$  点之间的电压为  $E$ , 由于自耦变压器作用, 使  $x$  点与  $z$  点之间电压变为  $2E$ , 故  $SCR_1$  上的电压为  $-E$  使其关断。同时电容反向充电, 直至  $-E/2$  值, 为关断  $SCR_2$  作好准备, 当  $SCR_1$  导通时就产生  $SCR_2$  的关断过程, 完成一个工作周期。如此反复, 就把直流变成交流, 负载上获得交流电压。控制可控硅的导通时间就能调整和稳定负载电压有效值。此种变流器的换流可

靠, 输出波形受负载变化影响不大, 但换流损耗较大, 不宜于高频工作。

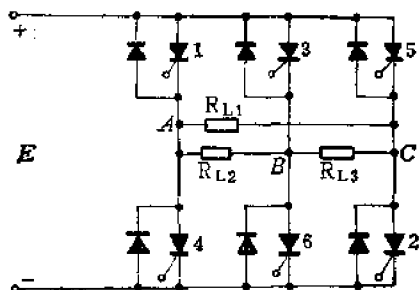


麦克莫莱-贝德福特变流器电路图

### 可控硅三相变流器

SCR three-phase inverter

把SCR按三相桥式电路连接起来, 如图所示, 以 $\frac{\pi}{6}$ 的相位差按图上所示的1、2、3、4、5、6数字顺序, 依次地触发各个可控硅, 就可获得三相交流输出, 这就是三相变流器, 它适宜于大功率应用。



可控硅三相变流器电路图

### 可控硅多相变流器

SCR polyphase inverter

为提高输出功率, 减小波形畸变, 可以按一定的相位把各个三相变流器的输出叠加起来, 以便组成多相变流器, 相数越多输出功率越大, 畸变越小, 但电路越复杂。

### 多相变流器

polyphase inverter

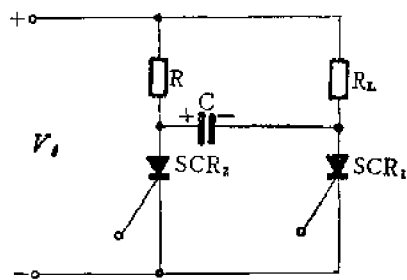
为了提高输出功率, 减小波形畸变和控制输出电压, 可以把多个它激变流器的输出用移相法按一定的相位叠加起来, 也可用同一(由环形计数器组成的)多相自激振荡器

分别推动多个开关功率放大器来组成多相变流器。其相数一般是三的整倍数, 以便于三相输出。

### 电容换流可控硅振荡变流器

SCR capacitor-commutated chopper

它是一种把直流变换成直流脉动的变流器, 由于其中的开关元件用可控硅, 而可控硅的换流是利用电容的充电电压作反向板阴电压, 故称做电容换流可控振荡变流器。电路如图所示, 当触发脉冲交替地加于可控硅控制极, 两个可控硅管 SCR<sub>1</sub> 和 SCR<sub>2</sub> 交替导通, 电容器交替地正反两个方向充电, 于是是一个可控硅的导通就使另一个可控硅关断, 反之亦然。其工作过程如下: 若 SCR<sub>1</sub> 先加触发脉冲而导通, 负载 R<sub>L</sub> 流过电流, 电容器 C 通过 SCR<sub>1</sub> 和 R 充电。其极性如图所示, 其电压近似为直流输入电压 V<sub>i</sub>。在 SCR<sub>2</sub> 加触发脉冲导通时, 电容充电电压反向加于 SCR<sub>1</sub> 上使其关断。当选择 R 之值使 V<sub>i</sub>/R 小于 SCR<sub>2</sub> 的维持电流 I<sub>H</sub> 时, 只要 V<sub>i</sub> 经过 R<sub>L</sub> 对电容 C 反向充电电流为零, SCR<sub>2</sub> 就自动关断, 为下一次换流作好准备。由于电容的充电时间常数大, 此电路工作频率低, 可靠性差。



电容换流可控硅振荡变流器电路图

### 直流变流器

d-c converter

在小功率的移动无线电设备中, 常需要把低压直流电(如蓄电池的电压)变换为高压直流电, 这种变换装置称为直流变流器。

常用的直流变流器有晶体管变流器和振

动变流器。这两种变流器的工作一般通过如图所示三个过程：逆变过程是低压直流变为低压交流，然后再用变压器把低压交流升高到一定数值，最后进行整流，得到所需高压直流。



直流变流器方框图

晶体管变流器的逆变过程常采用晶体三极管组成的振荡器来完成，它把所供给的直流低压变换为接近于方波的低压交流。而整流过程则采用普通半导体整流器来完成。

### 晶体管变流器

transistor converter

见“直流变流器”。

### 振动变流器

vibrating converter

振动变流器的逆变过程和整流过程（见“直流变流器”），通常都用机械振动装置来完成。完成逆变过程的机械振动装置是一组低压触点，完成整流过程的是一组高压触点，它们都装在一个金属外壳内，这种机械振动装置叫做同步振动子。因为逆变和整流是由低压、高压触点同步振动来实现的，所以把这种变流器叫做同步振动变流器。

在少数的振动变流器中，振动子中只有低压触点，即只能完成逆变过程，而整流过程是由振动子外部的电子整流器来完成的。这种变流器叫做异步振动变流器，其振动子叫做异步振动子。

振动变流器的可靠性差，寿命短，目前已很少使用了。

### 振动子

vibrator

见“振动变流器”。

### 不间断供电电源

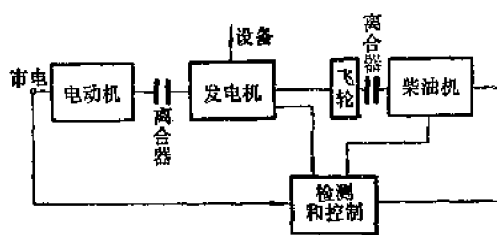
uninterruption power supply (UPS)

它是一种高可靠的长期连续工作的电源系统。由整流电源、变流器、大功率切换开关器、控保电路等四大部分组成。它用市电或由机发电机供电，有时还用浮充蓄电池作短期工作电源。通信、电子计算机和其它电子设备的发展，要求采用不间断电源系统才能满足要求。从前采用的不间断供电电源均系机电系统，即由电动机发电机系统。现在由于电子技术的发展，普遍采用静止式的固态系统。

### 柴油机-发电机-电动机不间断供电电源

D-G-M UPS

它的方框图如下图所示。平时由市电驱动电动机，电动机带动发电机，发电机向设备供电。当市电出故障时，控制电路切断市电和电动机，并立即驱动柴油机。由于飞轮的惯性，发电机继续转动。柴油机启动后，转速递增，当与发电机同步时，控制器发出指令，把离合器与发电机联上，由柴油机带动发电机。这样就完成由市电到柴油机的转换过程，使设备供电不间断。此种不间断电源比较简单，维修技术要求不高，但其可靠性尚不够高，噪声大。



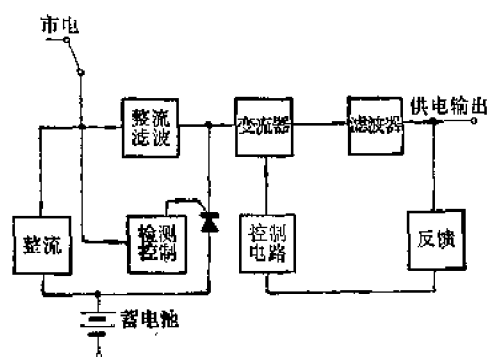
柴油机-发电机-电动机不间断供电电源方框图

### 固态不间断供电电源

solid state UPS

此种电源方框图如下图所示。在正常工作时，由市电经过整流滤波后向变流器供电，变流器输出滤波后向设备供电；同时市电还持续不断地向蓄电池充电。当市电出故障时，检测和控制电路切断整流滤波电路与变流器的连接，由蓄电池供电，继续维持输出。同





固态不间断供电电源方框图

时变流器还受闭环控制，保证其输出电压的稳定。可把多组不间断电源并联向负载供电，

总的输出功率要大于负载功率，任一组不间断电源出故障时便自动切断，以免影响其它组，此种多重并联连接不间断电源，称多重并联连接电源系统。它大大提高了不间断电源的可靠性。

固态不间断电源，可靠性高，无噪声，但设备复杂，维修要求高。

### 并联多重连接电源系统

parallel redundant power supply system

见“固态不间断供电电源”。

## 英 文 索 引

- |   |       |                                       |            |
|---|-------|---------------------------------------|------------|
| <b>A</b>                                    | 页 码   |                                       |            |
| acid storage battery                        | 14-6  | cupric oxide(cuprous oxide) rectifier | 14-21      |
| activated lead-lead dioxide battery         | 14-7  | current cutting-off protection        | 14-40      |
| activation                                  | 14-4  | current density                       | 14-2       |
| active material                             | 14-1  | current-limiting protection           | 14-40      |
| air mass                                    | 14-12 | current regulator                     | 14-41      |
| alkaline storage battery                    | 14-6  | curve factor                          | 14-12      |
| alkaline zinc-air battery                   | 14-9  | cut-off voltage                       | 14-2       |
| alkaline zinc-manganese dioxide cell        | 14-5  | cycle life                            | 14-3       |
| ammonia-air fuel cell                       | 14-10 |                                       |            |
| antireflective coating                      | 14-12 | <b>D</b>                              |            |
| asbestos-membrane hydrogen-oxygen fuel cell | 14-10 | d-c converter                         | 14-46      |
| automatically activated battery             | 14-7  | D-G-M UPS                             | 14-47      |
| average working voltage                     | 14-2  | $\frac{di}{dt}$ protect for SCR       | 14-26      |
|   |       | discharge characteristic curve        | 14-3       |
| <b>B</b>                                    |       | discharge rate                        | 14-4       |
| back current                                | 14-13 | discharge regime                      | 14-3       |
| back surface field effect solar cell        | 14-13 | double voltage rectifier              | 14-23      |
| back surface field solar cell               | 14-13 | dry charged battery                   | 14-6       |
| Bacon type hydrogen-oxygen fuel cell        | 14-10 |                                       |            |
| boost switching regulator                   | 14-38 | <b>E</b>                              |            |
|   |       | electrochemical cell                  | 14-1       |
| <b>C</b>                                    |       | electrochemical power source          | 14-1       |
| cadmium-mercuric oxide cell                 | 14-5  | electrode                             | 14-1       |
| cadmium-nickel storage battery              | 14-6  | electrolyte                           | 14-1       |
| cadmium-silver storage battery              | 14-7  | electromotive force                   | 14-1       |
| cadmium sulfide thin film solar cell        | 14-13 | end voltage                           | 14-2       |
| calculating power of transformer(VA power)  | 14-22 | energy density                        | 14-2       |
| calibrated solar cell                       | 14-14 | energy density per unit volume        | 14-3       |
| capacitor filter and inductance filter      | 14-29 | energy density per unit weight        | 14-3       |
| capacity factor of transformer              | 14-22 | energy content of battery (cell)      | 14-2       |
| capacity of cell                            | 14-2  |                                       |            |
| charge of storage battery                   | 14-4  | <b>F</b>                              |            |
| choke-condenser filter                      | 14-30 | field of radio interference           | 14-16      |
| circuit of SCR                              | 14-26 | floating charge                       | 14-4, 14-5 |
| commutation voltage of rectifier            | 14-19 | forward current                       | 14-18      |
| constant-current discharge                  | 14-4  | forward $dV/dt$ protect for SCR       | 14-26      |
| constant-resistance discharge               | 14-4  | forward mean current rating           | 14-25      |
| continuous discharge                        | 14-4  | forward mean voltage drop             | 14-25      |
| controlled rectifier                        | 14-17 | forward voltage drop                  | 14-18      |
| conversion efficiency                       | 14-12 | fuel cell                             | 14-9       |
| cover                                       | 14-12 |                                       |            |
|   |       | <b>G</b>                              |            |
|   |       | gallium-arsenide solar cell           | 14-14      |

galvanic cell	14—5
gas-filled rectifier diode	14—19
gate controlled switch (GCS)	14—29
germanium diode	14—20
germanium rectifier	14—20

**H**

hand generator	14—15
harmonic factor of inverter output voltage	14—43
heat activated battery	14—8
high temperature molten carbonate fuel cell	14—10
high temperature solid electrolyte fuel cell	14—11
high vacuum rectifier tube (diode)	14—19
high voltage silicon rectifier stack	14—21
hydrazine-air(oxygen)fuel cell	14—10
hydrogen-oxygen fuel cell	14—9

**I**

input voltage rating of rectifier	14—18
integral diode solar cell	14—13
integrated-circuit voltage regulator	14—39
intermittent discharge	14—4
internal resistance of rectifier	14—19
internal resistance of cell	14—2
inversion	14—43
inversion efficiency	14—43
inverter	14—43
ion-exchange membrane hydrogen-oxygen fuel cell	14—10
iron-nickel storage battery	14—7

**J**

Jones circuit	14—45
---------------	-------

**L**

LC-filter	14—30
lead accumulator	14—6
lead storage battery	14—6
life of storage battery	14—3
linear voltage regulator	14—32
lithium battery	14—8
lithium inorganic electrolyte battery	14—8
lithium organic electrolyte battery	14—8
lithium(sodium) water cell	14—8
load voltage	14—2
long time stability of regulator	14—33

**M**

magnesium dry cell	14—6
magnesium-silver chloride battery	14—8
maintenance current	14—26

methanol-air (oxygen) fuel cell	14—10
McMurray-Bedford inverter	14—45
McMurray inverter	14—45
mean value of back leakage current	14—25
mean value of forward leakage current	14—25
mercury rectifier	14—19
mercury-arc rectifier	14—20
metal-air battery	14—9
molten salt electrolyte battery	14—8
Morgan circuit	14—44
multijunction solar cell	14—13
multiple voltage rectifier	14—23

**N**

negative plate	14—1
nominal capacity	14—2
nominal voltage	14—2
nonlinear voltage regulator	14—32
non-transformer power supply	14—40
nuclear battery	14—14

**O**

open circuit voltage	14—2
organic compound-air(oxygen) fuel cell	14—10
output current rating of rectifier	14—18
output efficiency of storage battery	14—3
output voltage regulation of rectifier	14—19

**P**

parallel redundant power supply system	14—48
parameter voltage stabilizer	14—32
peak of back voltage	14—18
peak value of back voltage	14—25
peak value of forward blocking voltage	14—25
performance parameter of regulator	14—33
physical power source	14—12
polyphase inverter	14—46
positive plate	14—1
power density	14—3
power of battery(cell)	14—3
primary cell	14—5
protection of voltage regulator	14—40
pulse coefficient of rectifying voltage	14—18
push-pull inverter	14—43

**R**

radiation damage	14—12
radio interference	14—16
radio interference field level	14—16
radio interference voltage level	14—16

RC-filter	14-30
rectification coefficient	14-18
rectification efficiency	14-18
rectifier	14-17
rectifying circuit	14-22
reference voltage of regulator	14-32
regenerative fuel cell	14-11
regulation factor	14-33
reserve cell	14-7
reverse current	14-18
ripple coefficient of rectifying voltage	14-19
ripple factor	14-16
ripple of voltage	14-34

## S

saturated reactor voltage regulator	14-36
Schottky solar cell	14-13
SCR A-C regulator	14-39
SCR capacitor-commutated chopper	14-46
SCR D-C regulator	14-39
SCR element	14-24
SCR inverter	14-28, 14-44
SCR parallel capacitor commutated inverter	14-44
SCR phase-controlled regulator	14-38
SCR polyphase inverter	14-46
SCR three-phase inverter	14-46
secondary cell	14-6
selenium rectifier	14-21
self discharge	14-3
semiconductor rectifier	14-20
separator	14-7
series and parallel connection of rectifying element	14-20
series and parallel connection of battery	14-5
series regulator	14-35
shelf characteristic	14-3
shunt regulator	14-36
silicon controlled rectifier(SCR)	14-24
silicon diode	14-20
silicon rectifier	14-20
silicon solar cell	14-13
silicon voltage regulator diode	14-34
silicon Zener diode regulator	14-34
single end inverter	14-43
single phase bridge	14-23
single phase full wave controllable rectifier	14-27
single phase full wave rectifier	14-22
single-phase half-controllable bridge rectifier	14-27
single phase half wave controllable rectifier	14-27
single phase half wave rectifier	14-22
smoothing filter	14-29
sodium sulfur storage battery	14-8
solar cell	14-12
solar cell array	14-14
solar constant	14-12
solar simulator	14-12
solid electrolyte battery	14-8
solid state UPS	14-47

source of radio interference	14-16
specific capacity	14-2
spectral response	14-12
stability	14-33
standard radio interference	14-16
storage battery	14-6
supply	14-16
switching regulator	14-37

## T

temperature coefficient	14-33
thermal rating of junction	14-25
thermionic energy converter	14-14
thermoelectric generator	14-14
thin film silicon solar cell	14-13
three-phase bridge rectifier	14-23
three-phase controlled bridge rectifier	14-28
three-phase half controlled bridge rectifier	14-28
three-phase half wave controllable rectifier	14-27
three-phase half wave rectifier	14-23
time rate control(TRC)	14-33
transistor converter	14-47
transistor Dalington connection	14-41
transistor external excited inverter	14-44
transistor filter	14-30
transistor self excited inverter	14-43
transistor series regulator	14-35
transistor shunt regulator	14-36
trigger current and voltage of control grid	14-25
tube current regulator	14-42
tube regulator	14-35
turn-off SCR	14-29

## U

uninterruption power supply(UPS)	14-47
----------------------------------	-------

## V

VA characteristic of SCR	14-24
vibrating converter	14-47
vibrator	14-47
voltage of radio interference	14-16
voltage reference diode	14-34
voltage regulation factor	14-16
voltage regulator	14-32
voltage regulator with magnetic amplifier	14-37
voltage surge suppression in rectifier circuit	14-29

## W

working voltage	14-2
wrap-around contact solar cell	14-13

## Z

Zener diode	14-34
zinc-manganese dioxide dry cell	14-5
zinc-mercuric oxide cell	14-5
zinc-nickel storage battery	14-7
zinc-silver oxide activated battery	14-7
zinc-silver storage battery	14-7